

NÉPSZERŰ TERMÉSZETTUDOMÁNYI KÖNYVTÁR.

1.

ÜSTÖKÖSÖK.

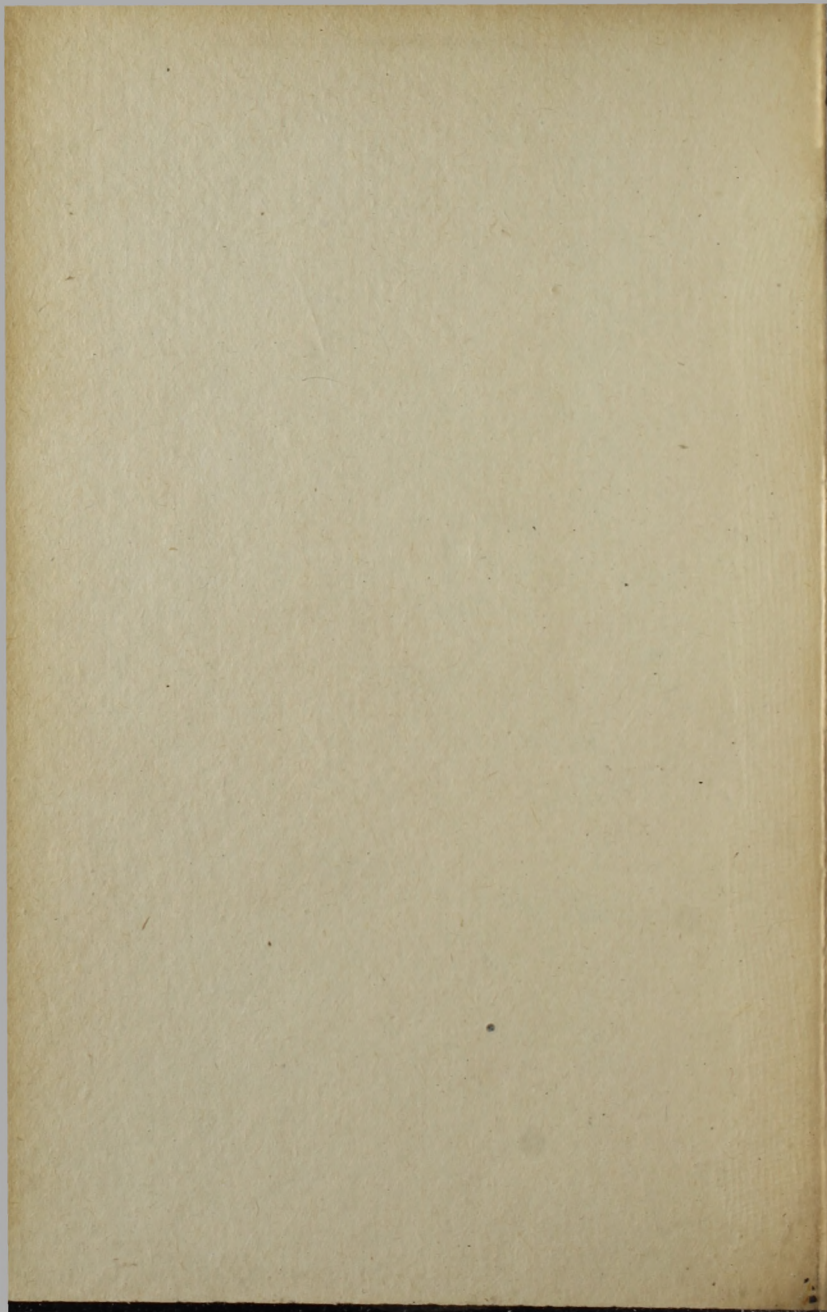
ÍRTA:

DR. WODETZKY JÓZSEF.

72 RAJZZAL.

BUDAPEST, 1910.

KIADJA A KIR. MAGYAR TERMÉSZETTUDOMÁNYI TÁRSULAT.



104168

Wodetzky J.

Ustökösök

104168

MAGY. AKADEMIA
KÖNYVTÁRA



"Patria" irodalmi kiállítás és nyomdai r.-t. nyomása Budapest, IX., Üllői-út 25.



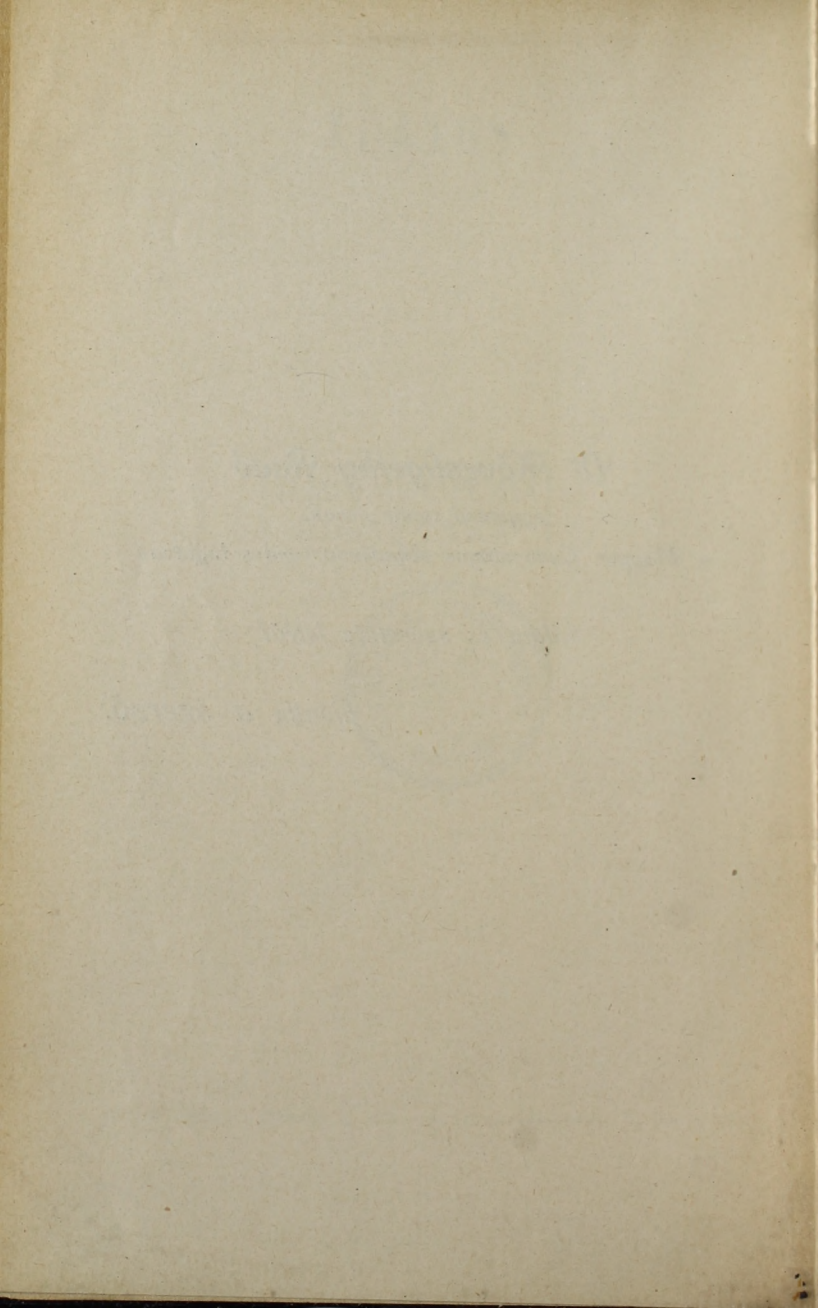
Dr Kövesligethy Radó

egyetemi tanár úrnak,

a Magyar Tudományos Akadémia rendes tagjának

hálája és szeretete jeléül

ajánlja a szerző.



ELŐSZÓ.

E könyvecske új vállalatunk első kötete, mely nem versenyez a könyvkiadóvállalattal, csak egy fölismerthetőséget kíván pótolni.

A természettudományok haladásáról összefoglaló és tájékoztató nagyobb közleményeket se a Természettudományi Közlönyben, se a Pótfüzetekben nem nyomathatunk ki. Abban nincs elegendő hely, ez évenként négyszer jelenik meg, tehát sokkal ritkábban, hogysem folytatásos cikkek közlésére alkalmas volna. Aztán meg ilyen, körülbelül 10—12 ívre terjedő népszerű munkát azok is könnyen megszerezhetnek, a kiknek nagyobbra nem telik. S minthogy elvünk az egyes kötetek tárgyát úgy választani meg, hogy az mennél szélesebb körben keltsen érdeklődést, hiszszük, hogy anyagi kockázat nélkül kezdetünk ez időszakos és előfizetéssel nem járó vállalat megindításához.

Tekintve, hogy mostanában alig van alkalomszerűbb tárgy, mint a Halley-féle üstökös, e vállalat első kötetét az üstökösöknek szántuk. A munka megírására dr. Wodeczky Józsefet nyertük meg, a kinek a csillagászat körébe vágó közleményeit tagtársaink a Közlönyből elég jól ismerik.

Azok, a kik e munkát elolvassák, meggyőződhetnek, hogy kiadásával nem végeztünk fölösleges munkát, mert ismereteiket az üstökösökről szóló legújabb vizsgálatok eredményeivel gazdagította. Szerzőnk mindent fölhasznált, a mit tudunk és mindent mellőzött, a mit csak képzelünk.

Kelt Budapesten, 1910 április havában.

Dr. Hlosvay Lajos.

TARTALOMJEGYZÉK.

	Lapszám
Előszó	V.
I. Régibb nézetek az üstökösökről. 2000 évig tartó	
küzdelem az üstökösök égi eredetének bebizonyításáért	1—30
Seneca az üstökösöket égitesteknek tartja	3
A régi nézetek megítélése. Spekuláció és megfigyelés	3
Üstökös-távolság meghatározásának első kísérlete	5
A csillagászati megfigyelésekre szolgáló régi műszerek	7
Tycho bebizonyítja, hogy az üstökösök távolabb vannak, mint a hold	13
Kepler és Galilei nézetei az üstökösökről	23
Asztronómia és asztrofizika	27
II. Az üstökösök pályája és mozgása	31—69
A pályák alakja. Látszólagos és valóságos pálya	31
Kepler törvényei	38
Newton törvénye. Az általános gravitáció	45
Üstökőspálya meghatározása; pályaelemek	49
Az első elliptikus pálya; Halley üstököse	58
A pályaelemek változásai; perturbációk	62
Az üstökösök tömege	66
III. Nevezetesebb üstökösök	70—136
A Halley-üstökös	70
Az üstökösök felfedezése; elnevezésük	87
Az Encke-féle üstökös	95
Biela üstököse	104
Liais kettős üstököse	109
Az 1744-iki üstökös	111
Egyéb üstökösök	111
Üstökös-statisztika	134

	Lapszám
IV. Az üstökösök fizikája	137—164
A színeképelemzés vagy spektrum-analízis	137
Doppler elve	150
Az üstökösök csóvái	153
Az üstökösök saját fénye	161
V. Az üstökösök és a meteorrajok	165—185
A hullócsillagok és pályáik	165
Meteorrajok	171
Az üstökösök valódi pályái	180
Betűrendes név- és tárgymutató	187

I.

Régibb nézetek az üstökösökről.

2000 évig tartó küzdelem az üstökösök égi eredetének bebizonyításáért.

Arisztotelesz az üstökösöket a Föld oly kigőzölgései-nek tartotta, melyek a levegőben meggyulladtak. Több évezredes megfigyelés és tapasztalás arra tanította az ókor népeit, hogy az ég tünetényei változatlan törvényeknek hódolnak. Az éj ragyogó csillagai emberemlékezet óta ugyanazokat az alakokat mutatták őseinknek; kezdetleges megfigyelő eszközeik a legcsekélyebb helyváltozást sem tudták kimutatni, érthető tehát, hogy az „álló” csillagok bennök az örökké változatlan, az örökké maradandó eszméjét keltették fel és szilárdították meg. A Nap, a Hold és az öt bolygó, melyet a régiek ismertek, változtatta ugyan helyét az égen, de mozgásuk oly szabályossággal, oly pontossággal ment végbe, hogy égi voltuk iránt kétség nem támadhatott. Hogy az égitestek között a Hold van hozzánk legközelebb, azt a régiek is sejtették; a Föld körül ő végez be leghamarább egy körfutást, némelykor eltakarja a Napot, a Marst, tehát legközelebbnek is kell lennie. A Holdé Arisztotelesz szerint a legalacsonyabb „égi kristálygömb”. A mi a Hold és a Föld között van, az mind múlandó és változó: a növényzet, az állatvilág, a felhők, az

eső, a viharok, múlandó maga az ember is. Ezek is épp oly évezredes tapasztalások voltak, mint az égitestek állandósága és mozgásuk változatlan szabályossága.

„Érzékeink tapasztalásai előbbre valók minden emberi spekulácziónál” — mondja Arisztotelesz (384—322. Kr. e.), a görögök nagy bölcse, kinek tanai két évezreden át nekünk ma már elképzelhetetlen hatalommal ígérték meg Európa népeit.

De mit mondott az Arisztotelesz-től látszólag oly nagyrabecsült tapasztalás az üstökösökről? Ezek az üstökösök (1. rajz) hirtelen és váratlanul tűnnek fel az ég valamelyik pontján, hatalmas fejük közepén tüzes mag ragyog erősebb fényben, ezt övezi egy kevésbé fényes, ködszerű korong vagy üstök, ebből pedig kinyúlik a hosszú csóva, mely némelykor a fél égboltozaton is végighúzódik. Míg a Nap, a Hold és a bolygók látszólagos mozgásukat mind az ég ugyanazon legnagyobb köre mentén vagy annak közelében végzik, addig az üstökösök útjai nincsenek az ég bizonyos tájékához kötve, épp oly kevésbé, mint a hullócsillagok vagy pedig a felhők útja. Nem is láthatók sokáig. Eltűnnek, elpusztulnak és többé nem térnek vissza oly örök szabályszerűséggel, mint a bolygók. Ebből Arisztotelesz azt következtette, hogy az üstökösök nem égitestek, hogy nincsenek odaerősítve egy kristálygömbhöz, hogy ennél fogva légköri, földi tűnemények, „szublunárisak”, vagyis a Hold alatt vannak. Az üstökösök szerint akként keletkeznek, hogy mocsarakból vagy barlangokból felszálló kigőzölgések a légkör felsőbb rétegeiben meggyulladnak.

Az előbbi következtetés tapasztalásra támaszkodott, igaz, hogy kezdetleges, elégtelen és naiv tapasztalásra, az utóbbi állítást pedig semmiféle megfigyelés sem indokolta, érthető tehát, hogy helytelenül magyarázta az üstökösök keletkezését és mivoltát.

Seneca az üstökösöket égitesteknek tartja. Az Arisztotelesz-ével ellenkező nézetekkel is találkozunk az ókorban. Apollonius Myndius 270-ben Kr. e. annak a nézetének adott kifejezést, hogy az üstökösök égitestek. Lucius Annaeus Seneca (Kr. e. 4 — Kr. u. 65), római filozófus, „Quaestiones Naturales“ című munkájának egész VII. könyvét az üstökösöknek szentelte s több oly megjegyzést tesz, melyek méltán meglephetnek bennünket. Mindenképpen azon van, hogy Arisztotelesz nézetének tarthatatlanságát kimutassa. Az üstökösök nem lehetnek múltó tűz, hanem a természet maradandó alkotásai. Minthogy olyféle utakon haladnak, mint az égitestek, ők is azok közé sorolandók. „Az üstökösök nem haladnak az ekliptika mentén, mint a többi bolygók? Hát ki szabott határokat a csillagok mozgásának? Ha visszatérésüket még nem lehetett megfigyelni, ha pályájukat még nem sikerült kiszámítani, az onnan van, hogy az üstökösök csak akkor láthatók, mikor az ég távolabbi rétegeiből leszállanak pályájuk alsóbb, a Földhöz közelebb eső részeibe. Az utókor csodálkozni fog, hogy így nyilvánvaló dolgokat nem ismertünk.“

A régi nézetek megítélése. Szekuláció és megfigyelés. Bármily helyesek Seneca nézetei a mi szempontunkból, még sem szabad azokat túlbecsülnünk. S bármennyire naivaknak találjuk jelenlegi ismereteinkhez mérten Arisztotelesz állításait, nincs okunk lekicsinylésükre. Ellentétes nézetek harcának eredménye a haladás, melynek végső kialakulását nem lehet előre megszabnunk. Ily folyamatos harcoknak, surlódásoknak eredménye a mai természet-tudomány, és ennek keretében az asztronómia is. Épp azért tanulságos a múltba vetni egy pillantást: ez megtanít bennünket arra, hogy jelenlegi ismereteinket is a kellő értékkel mérlegeljük. S ebből a szempontból az asztronómia egyik részének története sem annyira tanulságos, mint éppen az üstökösöké.

Könnyű lett volna eldönteni, hogy a két ellentétes nézet közül melyik igaz: meg kellett volna mérni az üstökösök távolságát a Földtől. Csakhogy Arisztotelesz idejében ily mérésre még nem lehetett gondolni. Arisztarchosz és Hipparchosz, az időszámításunk előtti kor két legkitünőbb csillagásza, Arisztotelesz után éltek s az ő agyukban szülemlett meg először az a gondolat, hogy az égi testek távolságát szigorú geometriai módszerekkel kell meghatározni, nem pedig önkényes spekulációkból.

Csakhogy Arisztarchosz éles elmére valló módszere csak a Holdra volt alkalmazható. Seneca korában sem volt ily irányú haladás tapasztalható.

Arisztotelesz és Seneca nézetei tehát merő spekulációk maradtak.

Az asztronómiában épp úgy, mint minden természettudományban ma már lejárt az ily önkényes spekulációk uralma. Csak oly tételek, melyeket a közönséges tapasztaláson messze túlmenő gondos megfigyelések és pontos mérések állandóan igazolnak, szolgálhatnak a tudományok építőköveiként. De a legpontosabb mérések is értéktelen adathalmaz maradnak, ha nem ismerjük az őket összekapcsoló összefüggést. A tudományok feladata az ily összefüggések kiderítése. A spekuláció itt sem nélkülözhető, csakhogy teljesen más a szerepe és feladata, mint Arisztotelesz-nél. Mi a megfigyelt valósághoz alkalmazkodunk gondolatainkkal, nem pedig a valóságot alakítjuk meg előre megállapított gondolatrendszer alapján.

Hogy milyen lett volna az üstökösökről való ismereteink fejlődése, ha Seneca nézetei elismerésre találnak, azt nem tudhatjuk: Arisztotelesz nézete győzött; tanításának tekintélye s hatalma oly óriási volt, hogy Ptolemájosz (Kr. u. 87—165), az ókor e kiváló csillagásza, az ő híres „Almagest”-jében a „Kometa” (= üstökös) szót nem is

említi. Az arabok, kik a filozófiában Arisztotelesz híveinek vallották magukat, a csillagászatban pedig Ptolemaiosz nyomdokain haladtak, szintén nem méltatták figyelemre az üstökösöket.

Üstökös-távolság meghatározásának első kísérlete.

Ptolemaiosz után még teljes tizenhárom századnak kellett elmúlnia, míg végre oly férfiú akadt, a ki megragadta azt az egyetlen eszközt, mely feleletet tudott adni arra a kérdésre, hogy az üstökösök a földi légkör tüneményei-e, hogy szub-lunárisok-e, a mint Arisztotelesz mondotta, vagy pedig hogy távolabb vannak-e tőlünk, mint a Hold. Említettük már, hogy ez az egyetlen eszköz az üstökösök távolságának megmérése. De meg lehet-e mérni valamely égitestnek tőlünk való távolságát? Mi a Földet nem hagyhatjuk el, nem vihetünk magunkkal mérővesszőt s nem rakhatjuk fel arra az egyenes vonalra, mely Földünket valamely égitesttel képzeletünkben összeköti! Mégis az asztronómia meg tudja határozni az égitestek távolságát, meg tudja állapítani nemcsak azt, hogy mily messze van valamely égitest a Földtől, hanem azt is, hogy mily távol van két tetszésszerű égitest egymástól.

A már említett Hipparchosz óta ezen alapjelentőségű feladat megoldásában semminemű haladást nem tettek az asztronómusok 18 századon át! Végre Regiomontanus (v. Müller) János (1436—1476), az égitestek távolságának meghatározására több új módszert talált ki s azokat az 1472-iki üstökösre alkalmazta is. Megfigyeléseit Walther Bernát-tal együtt végezte. Számításai azonban azt az eredményt adták, hogy a tőle megfigyelt üstökös közelebb van a Földhöz, mint a Hold. Később azonban Kepler és Hevelius kimutatták, hogy Regiomontanus számításai nem voltak helyesek és megfigyelései sem voltak kifogástalanok. Regiomontanus Mátyás király meghívá-

sára egy ideig Budán is tartózkodott és itt is végzett észleléseket. Az 1472-iki üstökösre vonatkozó méréseit Nürnbergben végezte, hol az említett Walther, ki gazdag patricius volt, csillagvizsgálót és könyvnyomdát rendezett be számára.

Az 1472-iki üstököst Toscanelli firenzei orvos is megfigyelte, a ki még 5 üstököst tett észlelései tárgyává. Eme megfigyelések alapján számította ki újabban Celoria ezen üstökösök valószínű pályáját. Regimontanus megfigyeléseit Halley és későbbben Laugier használták fel. Látni fogjuk a következőkben, hogy mit kell értenünk valamely üstökös pályája alatt s hogyan kell azt kiszámítani.

Ha balul is ütött ki Regimontanus ama kísérlete, hogy üstökös-távolságot határozzon meg, mégis megvolt az a nagy érdeme, hogy szakítva a hagyományokkal, az akkor uralkodó ptolemájoszi világfelfogás ellenére is — melynek különben feltétlen híve volt — belevonta az üstökösöket az elfogulatlan megfigyelés körébe.

Számosan csatlakoztak nyomába. Pl. Fracastor és Apianus Péter, kik észrevették, hogy az üstökösök csóvái mindig a Nappal ellenkező irányba mutatnak, továbbá Fabricius Pál, Heller Joachim, Vilmos hesseni tartománygróf és még mások, kik mind szorgalmas üstökös-megfigyelők voltak.

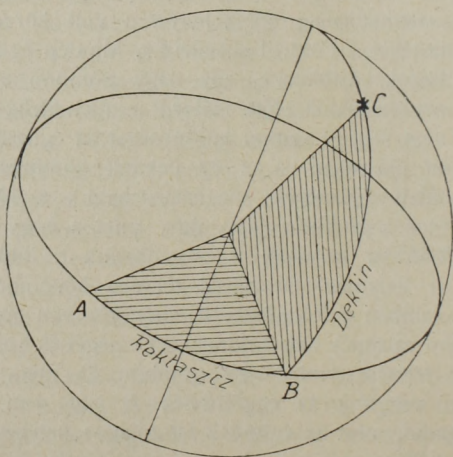
A XV. századba esik a könyvnyomás feltalálása, ekkor történnek a nagy felfedező utazások, melyek az európai művelt népek előtt új látókört, eddig nem sejtett ismereteket tártak fel. A könyvnyomás lehetővé tette, hogy a tudományok művelőitől elért eredmények rövid idő alatt közkinccsé legyenek. Így volt lehetséges az, hogy az asztronómiai ismeretek is nagyobb körben tudtak tért hódítani s hogy e tudomány fejlődése szélesebb mederben és rohamosabban haladhatott előre.

A csillagászati megfigyelésekre szolgáló régi műszerek. Hogyan történhetett az, hogy oly jeles csillagász, mint Regiomontanus, nem tudta helyesen meghatározni a tőle megfigyelt üstökös távolságát? Ez könnyen érthető lesz, ha tudjuk, hogy mit lehet az égitesteken megfigyelni és hogy mily módon történik ez a megfigyelés. Abban a korban, melyben Regiomontanus élt, a csillagászati megfigyelés még nagyon kezdetleges volt, bár az, hogy mit kell megfigyelni, matematikailag egész helyesen volt körvonalozva. Mi az égitesteket a Földről szemléljük. Minden égitest, Nap, Hold, csillagok, üstökösök, egy nagy gömbön elhelyezve jelennek meg szemeink előtt, melyről minden távlat hiányzik. A látszat nem árul el semmi különbséget az égitestek távolságai között. Azonban ha az ég nekünk gömbnek látszik, akkor minden égitestnek meghatározhatjuk a látszólagos helyzetét ezen a gömbön, épp úgy, mint a hogy bármely helynek földrajzi helyzetét is megadhatjuk a földgömbön. A földrajzi helymeghatározásnál teljesen közömbös, hogy mekkora valóban a földgömb. Kicsiny gömbön épp úgy ki lehet jelölni valamely hely földrajzi szélességét és hosszúságát, mint egy tetszésszerű nagy gömbön (2. rajz). Teljesen hasonlóan vagyunk az éggömbbel. A míg nem akarunk mást megadni, mint az égitestek látszólagos helyzetét az éggömbön, teljesen mindegy, hogy eme látszólagos gömbnek milyenek a méretei. A mi a geográfusnak egy hely földrajzi szélessége és hosszúsága, az a csillagásznak az égitestek *deklinációja* és *rektaszccenziója*.

A rektaszccenziókat az ég egyenlítőjén számítjuk egy ponttól kezdve, melyet tavaszpontnak szokás nevezni. Az ég egyenlítője az a kör, a melyben a Föld-egyenlítő síkja a látszólagos éggömböt metszi. A tavaszpont az a helye az égnek, melyet a Nap középpontja akkor foglal el, mikor márczius 21-ike táján éppen az ég egyenlítőjében van. A rektaszccenziót fokok-

ban (0^0 -tól 360^0 -ig) vagy órákban ($0^h - 24^h$) szokás kifejezni. A deklinációt az ég egyenlítőjétől északra és délre számítjuk 0^0 -tól 90^0 -ig oly körökön, melyek a megfigyelt égitesten és az ég sarkain átmennek. A 2. rajzon AB a rektaszccenzió, BC a deklináció.

Az egyedüli hirnök, mely a távoli égitestekről hozzánk



2. rajz. Rektaszccenzió és deklináció.

érkezik, a fény. A míg nem ismerték a távcsövet és a míg nem tudtak egyebet e fényről, mint azt, hogy ez a fény egy égitest jelenlétét árulja el nekünk — pedig egészen a legújabb időkig nem tudtunk ennél sokkal többet — addig semmiféle megfigyelés nem lehetett egyéb, mint az égitest rektaszccenziójának és deklinációjának a lemérése. Igaz, hogy valamennyi megfigyelés között ezek a legfontosabbak.

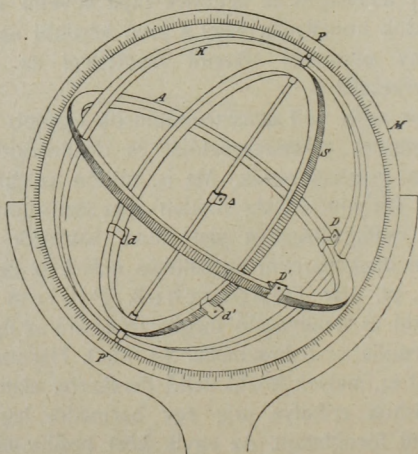
Ezek alkotják az alapot, melyen az egész asztronómia felépül, ezek a megfigyelések árulják el nekünk valamely égitest helyváltozásait, még akkor is, mikor az egyszerű látszat évszázadok alatt sem mutat változást a csillagok helyzetében, ezek segítségével lehetett megállapítani az égitesteknek egymástól való távolságait, kikutatni mozgásaik törvényszerűségét és ezt a törvényszerűséget egyszerű szabályokba foglalni; így lehetséges az égitestek útját követni a történelem előtti idők homályába vagy a jövő későbbi századaiba s ezen szerény adatokkal sikerült megfejtetni az üstökösök rejtélyes szerkezetét is.

Mindenkor az is volt az asztronómusok legfőbb törekvése, hogy az égitestek rektaszccenzióját és deklinációját minél pontosabban meghatározzák. Ma is, midőn az égboltozaton feltűnik egy üstökös, a világ minden — az asztronómia céljait szolgáló — csillagvizsgálója siet minél többször és minél pontosabban meghatározni az üstökös helyét az égen.

A régiek, pl. már Hipparchos, Ptolemájosz a rektaszccenzió és deklináció meghatározására az úgynevezett „sphaera armillaris“-t használtak (3. rajz). Három köralakú abroncs volt ez, melyek közül kettő derékszög alatt szilárdan volt egymáshoz erősítve, míg egy harmadik legbelül egy tengely körül foroghatott. Az egyik kört beállították az észlelőhely délkörébe, a második fokokra osztott kör képviselte az egyenlítőt. Ha a műszer tengelyét a Föld tengelye irányába helyezzük, akkor e második kör az ég egyenlítőjével fog egybeesni. A harmadik forgatható kört, mely szintén fokokra volt beosztva, beállították egy csillagra. Az egyenlítő körén akkor közvetlenül le lehetett olvasni az ú. n. óraszöveget, mely a rektaszccenzióval egyszerű összefüggésben van. A deklináció meghatározására szolgált végre a deklinációkörre mozoghatóan erősített *dioptr*: oly lécz, melynek végeire egy-egy, kis köralakú nyílással ellátott lapocska volt erősítve.

A diopteren át a megfigyelendő csillagra „czéloztak“ és a deklinációt közvetlenül leolvasták.

Másik fontos műszerük volt a „triquetrum“. Függőlegesen fölállított lécz két végéhez két másik lécz volt foroghatóan erősítve. Ezek közül a felső épp oly hosszú volt, mint a függőleges lécz, a harmadik pedig az alsó lécz végétől a

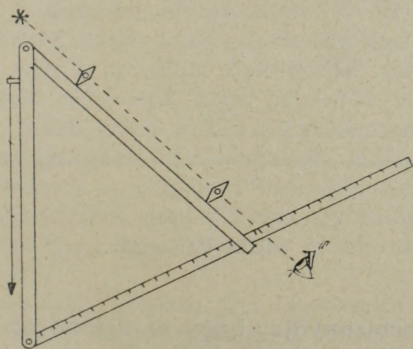


3. rajz. A sphaera armillaris (abroncsgömb).

felső lécz végéig ért, ha a felső lécz vízszintes helyzetben volt, más szóval átfogója volt egy egyenlő szárú derékszögű háromszögnek (4. rajz).

A felső léczre a pontosabb czélozás végett dioptert alkalmaztak, az alsó lécz pedig bizonyos számú egyenlő részekre volt beosztva. A függőleges és a diopteres lécz alkotta szöget ki kellett számítani a felosztott léczen leolvasott részek

számából. Ezen műszerrel, melyet megfigyeléseinél még Copernicus, a csillagászat nagynevű reformátora is használt, csak 5 ívpercnyi pontossággal lehetett a szögeket lemérni. Copernicus triquetruma fából volt, az osztásvonalak tentával voltak megjelölve. Elképzelhető, hogy ily eszközökkel a rektaszccenzió és deklináció meghatározása mily fáradságos volt s amellet mai fogalmaink szerint mily kevésbé pontos. Az ívmásodpercz mérését csak Bradley

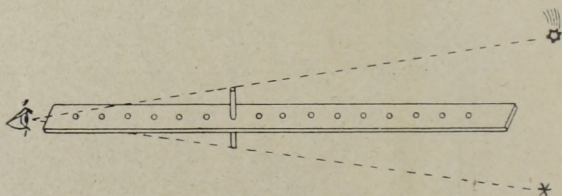


4. rajz. A triquetrum.

(1692—1762) valósította meg, ma pedig — tökéletes műszereinkkel — az ívmásodpercz kis. törtrészeit is pontosan meg tudjuk mérni.

Regiomontanus előtt minden egyes csillag egyenlítői koordinátáit (röviden így nevezzük ezentúl a rektaszccenziót és deklinációt) külön-külön állapították meg. Regiomontanus-nak támadt az a gondolata, hogy ú. n. „alignement“-nal, közvetítő méréssel határozza meg egy csillag helyzetét akként, hogy megmérte a csillag szögtávolságát két oly csillagtól,

melyeknek koordinátái már ismeretesek voltak. Erre a célra használta a Jákob-botját vagy „baculus astronomicus“-t (5. rajz). Ez hosszú lécz volt, melybe egyenlő távolságokban kis lyukak voltak fúrva; ezekbe kis pálczát dugott, úgy hogy a pálczika közepe pontosan (persze amennyire lehetett) a léczbe essék. A pálczika helyét a léczen addig változtatták, míg a lécz végétől a pálczika két végén át a csillagra, pl. az üstökösre lehetett egyszerre célózni. Ezzel a műszerrel a legkedvezőbb esetben 3 ívpercznyi pontosságot lehetett elérni.



5. rajz. A Jákob-botja.

Tycho bebizonyítja, hogy az üstökösök távolabb vannak, mint a Hold. Az említett műszerekkel végzett mérések fogatkozásait Tycho de Brahe (1546—1601), a méltán híres dán csillagász igen jól ismerte s minden igyekezetével azon volt, hogy a megfigyeléseket lehetőleg tökéletesítse. Ő belátta azt, hogy e műszerek méreteinek növelésével nem érhet célzt. Azért más eszközöket használt, melyek pontosabb körbeosztást tettek lehetővé s más módszereket is alkalmazott a koordináták meghatározására. Az ő főműszerei a fali quadráns és az azimutális quadráns voltak. Előbbi egy pontosan észak-déli irányban épült, falra erősített körnegyed vagy egész körből állott; középpontjában egy tengely körül forgatható diopter volt alkalmazva. A kör fémből készült és nóniuszszal vagy

transzverszálisokkal volt ellátva az ívperczek pontos leolvasása céljából. Ez a műszer, melyet az arabok már régen használtak, őse a mi meridiánkörünknek, mely főműszere, lelke minden asztronómiai intézetnek, mely pontos mérések végzésével foglalkozik. Az azimutális quadráns vízszintesen álló teljes körből állott. Ezen két körnegyed volt eltolható, melyek egy, a vízszintes kör közepén átmenő és síkjára merőlegesen álló tengely körül voltak forgathatók. A beosztáson itt is az ívperczeket közvetlenül lehetett leolvasni.

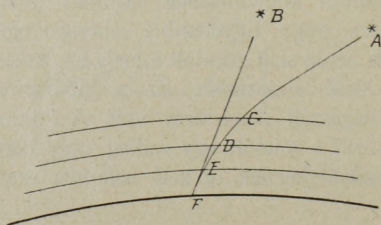
Tycho a közvetlen rektaszccenzió- és deklináció meghatározás helyett inkább a csillagok zenittávolságát és azimutját figyelte meg, és az előbbi koordinátákat számítás útján kereste.*) Tette pedig azért, hogy figyelembe vehessen egy hibaforrást, melyre előbb senki sem gondolt s mely az összes addigi megfigyeléseket kissé eltorzította. Ez a hibaforrás pedig a refrakció, a csillagászati sugártörés volt. A Földet t. i. légburkolat veszi körül s mielőtt egy csillag vagy bármilyen égitest fénye hozzánkérkeznék, át kell haladnia ezen a burkolaton.

Ez a légburkolat azonban nem egyenletesen sűrű mindenütt. A felsőbb rétegek ritkébbak, az alsóbb rétegek ellenben sűrűbbek. Ha a fény ritkébb rétegből sűrűbb rétegbe megy át, akkor útjából eltér, megtörik, még pedig úgy, hogy a fénysugár útja valamivel befelé a sűrűbb közegbe esik. Innét van azután, hogy pl. az *A* csillagból (6. rajz) *AG* irányban kiinduló fény nem *G*-be érkezik, hanem keresztül haladva a Földet körülvevő folyton sűrűsödő légrétegeken, útja mindinkább befelé görbül (*CD*, *DE*, *EF*), úgy hogy *F*-ben éri a

*) Zenittávolság és azimut, hasonlóan a rektaszccenzióhoz és deklinációhoz, szintén szögek. Csakhogy míg az utóbbiaknál az alapsík az ég egyenlítője, addig amazoknál az alapsík a megfigyelőhely vízszintes síkja.

Földet. Az F -ben levő megfigyelő szemébe a fény EF irányból jön, a megfigyelő tehát a csillagot vagy üstököszt B -ben látja. A sugártörés hatása ennél fogva az lesz, hogy a csillag helyét a valódinál kissé magasabbnak mutatja a látóhatár felett. A sugártörés legnagyobb a látóhatár közelében és csak a zenitben tűnik el teljesen.

Tycho-é a nagy érdem, hogy a sugártörést minden megfigyelésénél lelkiismeretesen tekintetbe vette. Azért is választotta megfigyelései alapjául a horizont koordinátáit, mert ott a sugártörést egyszerű módon közvetlenül állapíthatta meg.



6. rajz. Csillagászati sugártörés.

Az egyenlítői koordinátákat pedig végtelenül fáradságos, de mindig kifogástalan módon számította a refrakció okozta hibáktól megtisztított megfigyeléseiből.

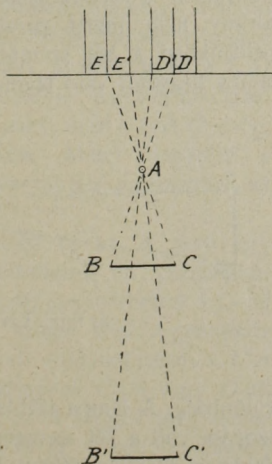
Most már beláthatjuk, hogy miért nem adhattak Re-

giomontanus megfigyelései helyes eredményt. Nemcsak mérései voltak durvák Tycho méréseivel szemben, hanem eredményeit a refrakció is eltorzította, azonfelül pedig Regiomontanus módszerei, melyeket az égitestek távolságainak meghatározására igen éles elmével megállapított, -- a mint Tycho bebizonyította -- csak úgy alkalmazhatók, ha a megfigyelés akkor történt, mikor a csillagot vagy üstököszt éppen a meridiánban figyelték meg. Már pedig Regiomontanus üstökösmegfigyelései nem a meridiánban történtek. Érthető ezek után, hogy számításainak végeredménye teljesen hibás volt.

Lássuk már most, mi módon történik valamely égitest távolságának lemérése.

A szoba közepén lelógó lámpa alul hegyben végződik (A, 7. rajz). Egy-két lépésnyire a lámpától megállok és behunyva pl. jobb szememet, bal szememmel (B) a lámpa hegyének irányában a szemközt levő fal felé tekintek, czélozok.

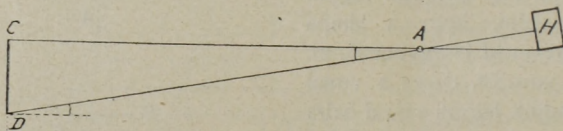
Azt veszem észre, hogy a lámpa hegye épp egybe esik a faldísz sávjainak egyik vonalával, pl. D-vel. Most behunyom bal szememet és jobb szememmel (C) tekintek A-n át a fal felé. Azt fogom tapasztalni, hogy a lámpa hegye most is egybeesik, pl. egy vonallal, de ez a vonal mondjuk három sávval balra fog esni D-től, pl. E-be. A lámpahegy helye tehát látszólag eltolódott, a szerint, a mint egyik vagy másik szememmel szemléltem. Ha most egy-két lépéssel távolabb állok a lámpától és az előbbi kísérletet ismétlem, azt fogom tapasztalni, hogy



7. rajz. Közeli tárgy parallaxisa.

ez az eltolódás kisebb lett, pl. már csak egy sáv. Az a szög, a mellyel a lámpa hegye az első esetben látszólag eltolódott, az A-nál levő BAC szög, a második esetben pedig a B'AC' szög. Ez az utóbbi szög azonban kisebb, mint az első. Ezt a szöget *parallaxis-szögnek* vagy egyszerűen *parallaxis-nak* szokás nevezni. Az előbb leírt egyszerű tapasztalat pedig azt mutatja, hogy a parallaxis annál kisebb, minél távolabb vagyunk valamely tárgytól.

Tegyük most fel, hogy a szabadban vagyunk. Messze távolban látjuk egy templom tornyát (A , 8. rajz) és mögötte egy még távolabbi hegyen egy házat (H). Imételjük meg előbbi kísérletünket. C -ben képzelt álláspontunkból egyik szemünkkel a torony irányába nézve azt látjuk, hogy a torony keresztje pl. éppen a ház jobb sarkát fõdi. Ha változatlan álláspont mellett, most másik szemünkkel nézünk a torony irányában, a kereszt ismét csak a ház jobb sarkát fõdi, a torony nem mutat parallaxisbeli eltolódást. Miért? Elsõ példánkban a két szemünk közti távolság és fejünknek a lámpa hegyétõl való távolsága között nem volt túlságos nagy



8. rajz. Távoli tárgy parallaxisa.

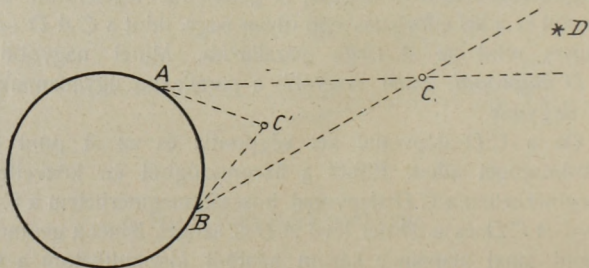
különbség. A lámpa távolsága mondjuk tízszerese vagy húsz-szorosa volt a két szemem közti távolságnak. Második példánkban ellenben néhány kilométernyire vagyunk a templomtól. Ennélfogva a két szememtől a templom keresztjéhez képzeletben vont egyenes oly csekély szöget alkot, hogy azt észre sem tudom venni. De hagyjuk most el az előbb elfoglalt C álláspontunkat és menjünk pl. 30 lépéssel jobbra. Ekkor észrevesszük, hogy a templom keresztje nem fõdi már ama távoli ház jobb sarkát, hanem kissé balra tolódott el. Ha tehát a CD alapvonalat elég nagyra veszem, a távoli A tárgy is észrevehető parallaxist fog adni. De nekünk nem elég ezt a parallaxist észrevenni, mi meg is akarjuk mérni.

Képzeljünk C -be egy körzőt letéve úgy, hogy egyik szára A felé, a másik pedig D felé mutat, feje pedig C -be esik. A körző nyílása megadja az ACD szöget. Toljuk most el a körzőt a CD irányban, nyílásszögét változatlanul hagyva, míg nem feje D -be esik. A körző egyik szára most CD meghosszabbításába esik, másik szára pedig a CA -val párhuzamos lesz. Ha most azt akarom, hogy ez a második szár A felé mutasson, egy kissé meg kell nagyobbítanom a körző nyílását akként, hogy egyik szárát a D körül addig forgatom, míg a DA iránnyal egybeesik, másik szárát természetesen a CD meghosszabbításában hagyva. A geometria legelemibb tanai szerint ez a kis elforgatás épp olyan nagy, mint a CAD szög, vagyis mint az A tárgy parallaxisa. Minél nagyobb a CD alapvonal, annál nagyobb a parallaxisa ugyanannak az A tárgynak.

De a CD alapvonal két végpontja és az A pont egy háromszöget alkot. Ebből a háromszögből én közvetlenül megmérhetem a CD alapvonal hosszát, megmérhetem a C -nél levő ACD és a D -nél levő ADC szöget. Ismét a geometria elemi tanai alapján e három adatból kiszámíthatom a CA vagy DA vonalakat, vagyis az A tárgynak C -től vagy D -től való távolságát, a nélkül, hogy ezt az A tárgyat meg kellett volna közelítenem. Lehet pl. a CD és az A között valamely széles folyam, tó stb., mely lehetetlenné tenné a megközelítést és az A tárgy távolságát az említett módon mégis meg tudjuk határozni. (Ez a módszer használatos pl. a térképek készítésénél is.)

Az alkalmazás az égi testekre most már teljesen önként következik. Ha a Föld felszínén A -ban és B -ben levő két megfigyelő (9. rajz) egyszerre figyeli meg a C égitestet, akkor, ha az égitest elég közel van és az AB távolság elég nagy, a C égitestet szükségképpen az égnek nem ugyanazon helyén fogják látni és pedig az ACB parallaxis követ-

keztében. Más szóval az A -ban levő megfigyelő úgy látja C -t, mintha pl. jobbra esnék a D álló csillagtól, a B -ben levő megfigyelő pedig balra látja a C -t a D -től. A rajz ezeket a viszonyokat persze túlozva tünteti fel. Ha egy másik égitest még közelebb van, pl. C' -ben, akkor parallaxisa az előbbieket értelmében okvetlenül nagyobb. Ha tehát azt akarjuk eldönteni, hogy valamely égitest közelebb van-e a Földhöz, mint a Hold, vagy pedig távolabb, akkor csak le kell mérnünk a két égitest parallaxisát. Ha az A és B észlelő-

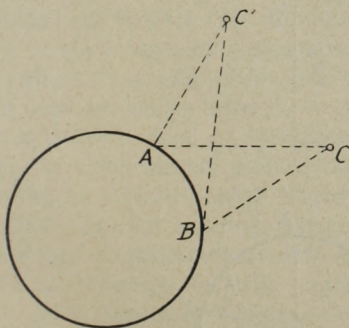


9. rajz. Égitest parallaxisa.

helyek távolságát is megmérjük pl. kilométerekben, akkor az égitest távolságát is megadhatjuk számszerint kilométerekben kifejezve.

Az előbb leírt parallaxis azonban nem állandó. Ezt könnyen beláthatjuk, ha meggondoljuk, hogy a C égitest, a Föld középpontjától mindig ugyanazon távolságban maradva, az A és B helyekre nézve mindig más parallaxist mutat, a szerint, a mint hozzájuk képest más és más helyzetet foglal el (10. rajz). Ha pl. az égitest C -ben van, parallaxisa nagyobb, mintha C' -ben lenne, pedig a Föld középpontjától való távol-

sága ugyanaz maradt. Ezért szükséges az asztronómiában a parallaxis egy határozott értékét kijelölni. Képzeljük a Föld középpontjában, D -ben, egy megfigyelőt, egy másikat pedig a Föld egyenlítőjének valamely pontján, A -ban (11. rajz). Ha a csillag C -ben van, D és A az ég ugyanazon pontján látja C -t, a parallaxis zérus. Maradjon meg a DC távolság változatlanul és képzeljük, hogy C a Föld középpontja körül

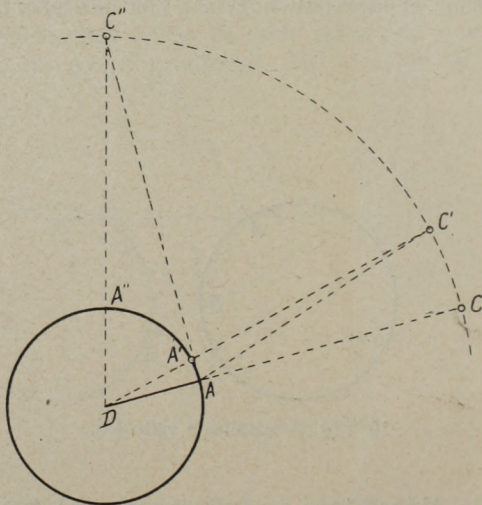


10. rajz. A parallaxis változása.

kört ír le. Akkor C' -ben a parallaxis már nem lesz zérus; a parallaxis megnövekedett. A legnagyobb lesz a parallaxis, ha a csillag C' -be, A horizontjába ér. A' -ból tekintve pedig a zenitben látszik.

A parallaxisnak ez a legnagyobb értéke, a $DC'B$ szög lesz az, a mit tulajdonképpen parallaxis alatt érteni kell. Az alapvonal itt mindig DA , a földegyenlítő sugara; és mivel a DAC' háromszög A -nál derékszögű, elég a C' -nél levő szöget ismernem, hogy kiszámíthassam, hány földsugárnyi távolságban van C' a Föld középpontjától. Mindegy most

már, hogy az égitest távolságát földsugarakban adom-e meg (a *földsugarat egységnek* vehetjük és nem kell tudnunk, hogy pontosan hány *méter* hosszú) vagy pedig a parallaxissal jellemzem ezt a távolságot. Az asztronómiában mindig a szögmértékben kifejezett parallaxist használjuk számításbeli sok



11. rajz. Az egyenlítői parallaxis.

előnyeért. A parallaxis imént definiált értékét az ú. n. *egyenlítői horizontális parallaxis* névvel szokás jelölni*).

*) Ha valamely égitest a Földtől nagyon messze van, akkor az egyenlítői parallaxis annyira kicsiny lehet, hogy műszerekkel nem mérhető, éppúgy, mint előbbi második példánkban a két szemünk közti távolság nem volt elegendő, hogy a távoli toronyra nézve

Tycho, a *Hven* szigetén épült, az akkori viszonyokhoz mérten nagyszerűen berendezett csillagvizsgálójában figyelte meg az 1577-iki üstököszt. Megfigyelései és számításai azt mutatták, hogy 1577 nov. 30-án este 5 óra 26 perctől 7 óra 54 percig az üstökös parallaxisa 3 ívpercczel változott. Tycho most azt a kérdést vetette föl magában, hogy mennyivel változott volna a Hold parallaxisa, ha látszólag ugyanazon helyeket foglalta volna el az égen, mint az üstökös, más szóval, mennyivel változott volna az üstökös parallaxisa, ha olyan távolságban lett volna a Föld középpontjától, mint a Hold? Mivel a Hold egyenlítői parallaxisát már régtől fogva (Hipparchosz óta) elég jól ismerték, Tycho ezt a különbséget elég pontosan kiszámíthatta. Az eredmény 9' volt, vagyis háromszor akkora, mint az üstökösnél tapasztalt parallaxisváltozás. Az előbbeniekből azonban tudjuk, hogy ez csak úgy lehetséges, ha a Hold sokkal közelebb van hozzánk, mint az üstökös. Tycho ennél fogva végre kimondhatta azt a következő állítást: *az üstökösök távolabb vannak tőlünk, mint a Hold.* Ez az eredmény nem volt pusztán elmékedés eredménye, sem pedig önkényes föltevés, hanem letagadhatatlan, kényszerítő erejű tapasztalati valóság, mely egy csapással megsemmisítette Arisztotelesz egész világrendszerét.

Tycho szép felfedezésének nagy jelentősége van több más szempontból is, de ennek taglalása, valamint Ptolemájosz, Copernicus és Tycho geometriai világrendszereinek méltatása messze túlhaladná e kis könyvecske kereteit. Viszont szükséges volt Tycho felfedezését az üstökösökről való pozitív ismereteinknek helyes megértése céljából a kellő világításban

észrevehető parallaxisbeli eltolódást hozzon létre. Ilyenkor a Nap-Föld távolságot vesszük alapvonalul s az így nyert parallaxist évi parallaxisnak nevezzük, szemben az előbbivel, melyet napi parallaxisnak is neveznek.

bemutatni s a múlhatatlanul szükséges alapfogalmakat is kifejteni*).

Az 1577-i üstökös 70 napon át volt látható. Tycho gondosan megfigyelte, azaz pontosan meghatározta egyenlítői koordinátáit és minden megfigyelésnél az észlelés pontos idejét is feljegyezte. Az óra illetően alkalmazását a már említett hesseni Vilmos vezette be először. Azóta az óra a meridiánkörrel együtt a pontos asztronómiai megfigyelések főműszerévé lett.

Tycho még több más üstököst is megfigyelt, nevezetesen az 1585 és az 1590-ieket. Ezen megfigyelések alapján számíthatta ki Halley egy századdal később az említett három üstökös pályáját.

Tycho-nak az volt a nézete, hogy az üstökösök a Nap körül köralakú pályában mozognak. Megemlítjük, hogy ő nem volt híve a Copernicus-féle világrendszernek. A Földet a mindenség középpontjában nyugvónak képzelte; körülötte kering a Hold és a Nap, a többi bolygó, valamint az üstökösök pedig a Nap körül keringenek. Látni fogjuk, hogy aránylag kevés oly üstököst ismerünk eddig, mely a Nap körül akként kering, hogy szabályos időközökben zárt pályát fut be. Mégis Tycho nézetének az a mélyebb értelme van, hogy Arisztotelesz-szel szemben az üstökösök égi eredetét állapítja meg; az üstökösök nem légköri múltó tűnemények, hanem épp oly valóságos égitestek, mint a bolygók.

Tycho számos más szép felfedezésének és az asztronómia körül szerzett érdemeinek felsorolásába nem bocsátkozunk, de meg kell említenünk, hogy a megfigyelés művé-

*) Még egyébként kitűnő szakkönyvekben is találunk az üstökösök távolságának meghatározására vonatkozó oly állításokat, a melyek a történeti valósággal ellentétben vannak; a szövegben közölt állítások az eredeti források tanulmányozásának eredményei.

szetében ő volt mestere a nagy Kepler-nek, s hogy az ő kitűnő Mars-megfigyelései tették lehetővé Kepler-nek a róla elnevezett szép törvények felfedezését.

Kepler és Galilei nézetei az üstökösökről. Kepler, (1571—1630) a mai csillagászat tulajdonképpeni megalapítója, az 1607 és az 1618-ban feltűnt üstökösöket figyelte meg. Az 1607-i üstökös ugyanaz, a mely ma a Halley-üstököse néven ismeretes s a melynek az idén újból való megjelenése szélesebb körben is akkora érdeklődést keltett. A két üstökösnek pályáját Halley számította ki Kepler megfigyelései alapján. Érdekes, hogy Kepler, a ki elképzelhetetlenül fáradságos kutatás után Tycho és saját megfigyeléseiből kimutatta, hogy a bolygók a Nap körül ellipszisalakú pályában mozognak, a ki megállapította azt, hogy e mozgás miképpen megy végbe, a ki szellemének páratlanul mélyrelátó erejével meg tudta találni azt az összefüggést, mely a bolygók keringés-ideje s a Naptól való távolságaik között fennáll, az üstökösök mozgásának valódi mivoltát nem tudta felderíteni. Arra a meggyőződésre jutott ugyanis, hogy az üstökösök egyenesvonalú pályát írnak le. Ezen nincs mit csodálkoznunk. Kepler az 1607-i üstököst 30 napon át figyelte meg. Ez nagyon kicsiny időköz és nem volt elegendő arra, hogy az üstökös egész pályáját a megfigyelt rövid darabból megszerkeszsze. Az üstökösök mind pályájuknak csak igen kis részében láthatók és figyelhetők meg. Azt a feladatot pedig, hogy az ilyen kis részből miként lehet az egész pályát meghatározni, akkor még egy Kepler sem tudta megfejtetni. Ez az egyenesvonalú pálya nem volt más, mint feltevés, éppúgy mint Tycho körpályája.

De hallgassuk meg Kepler saját szavait! „Hogy a köralakú mozgás az örökké való testeknek alkalmasabb, azt maga Arisztotelesz is elismeri: ennél fogva az oly testekhez, melyek keletkeznek és elmúlnak, nem illik a köralakú mozgás,

de még a hullámos és szabálytalan sem, mivel ezekben, mondja *Arisztotelesz*, mindig van valami a körből; nem marad tehát más, mint a tiszta egyenesvonalú mozgás.“ Láthatjuk ebből, hogy mekkora volt *Arisztotelesz* filozófiájának hatalma: még *Kepler* sem tudott bilincseiből teljesen kiszabadulni. *Kepler* tehát az üstökösöket mulékony égitesteknek tartotta, melyek egyenesvonalú pályán haladnak, de távolabb vannak tőlünk mint a *Hold*. Meglepően helyes nézetei voltak *Kepler*-nek az üstökösök csóvájáról; erről később szólunk.

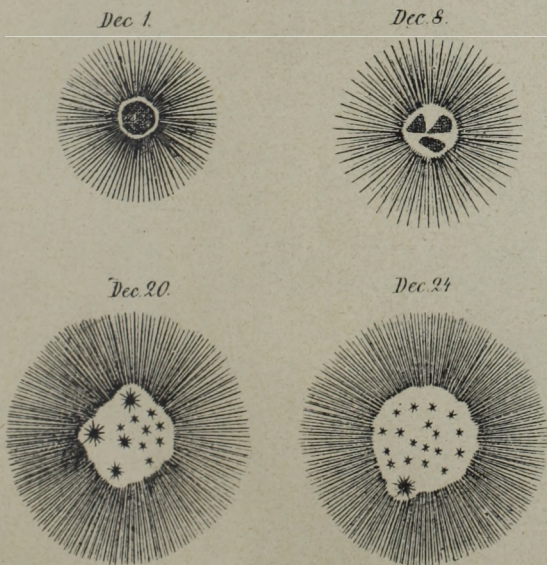
Galilei (1564—1642), a mechanika megalapítója, *Copernicus* világrendszerének elszánt védője, ki az akkortájt feltalált távcsővel maga is tett csillagászati felfedezéseket, *Tycho* igazát nem akarta elismerni: a „*Saggiatore*“-ban kimondja, hogy az üstökösök szublunárisak. Ugyanaz a *Galilei* ez, a ki *Kepler* törvényeit 20 évvel felfedezésük után a „*Dialogo*“-ban egyszerűen hallgatással mellőzi. De *Galilei* talán az utolsó asztronómus, ki nem fogadta el a *Tycho*-tól kiderített igazságot.

Cysatus jezsuita, ki először szemlélt üstököst távcsövön át, az 1618-i üstököst kereknek látta; december 8-án több részre oszlott az üstökös, december 20-án számos apró csillag képét mutatta. A 12. rajzon bemutatjuk *Cysatus* eredeti rajzait. Érdekes ezeket összehasonlítani a mai üstökösfényképekkel. *Cysatus* elfogadta *Kepler* nézetét az üstökösök egyenesvonalú mozgásáról.

* *

A régi diopter helyett ebben az időben kezdték a távcsövet a csillagászati műszereken alkalmazni. A távcsőben keresztalakban elhelyezett két pókhálósál, a fonálkereszt (*Gascoigne*, 1640) a beállítást, célzást sokkal pontosabbá tette. Az első üstökös, melynek koordinátáit ily távcsővel fölszerelt műsze-

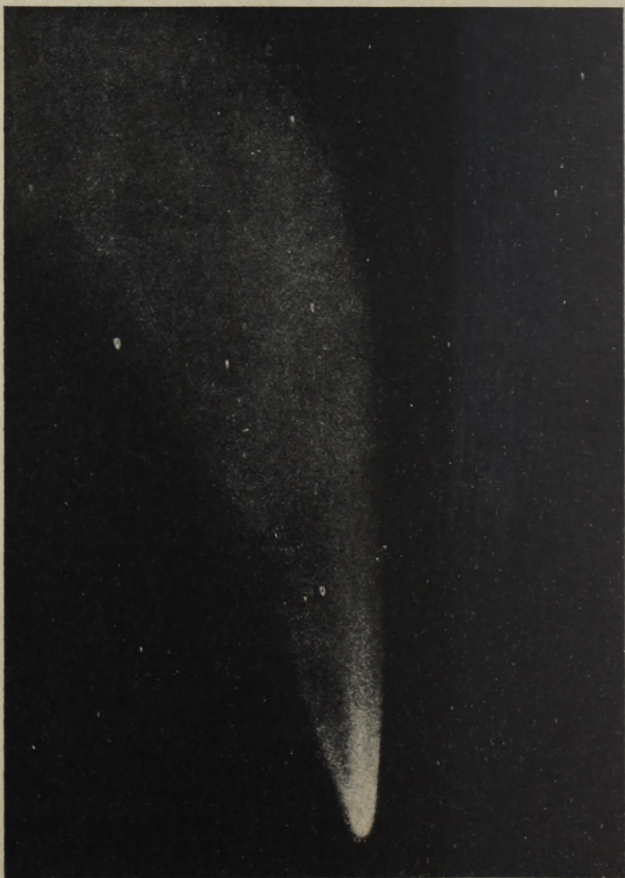
ren határozták meg, az 1664-i üstökös volt; e megfigyeléseket Auzout végezte Párisban. Ezt az üstököst számos megfigyelő kísérte figyelemmel: Borelli, ki valószínűnek találta, hogy ez az üstökös ellipszisen mozog, Petit, a ki azt



12. rajz, Az 1618-iki üstökös széteszlása Cysatus szerint.

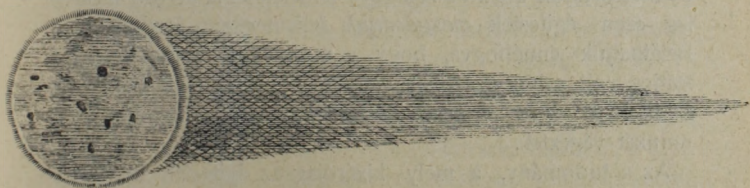
állította, hogy az üstökösök hosszan elnyúlt ellipszisen keringenek a Nap körül.

Hevelius (1611—1687) egyike volt a legbuzgóbb üstökös-megfigyelőknek. Gondos figyelemmel írta le számos üstökös külső megjelenését, alakját, csóváját, mint kitűnő megfigyelő,



13. rajz Az 1910 a üstökös. Guénisset fényképe.

pontos méréseket eszközölt az üstökösök helyzetéről, összegyűjtött minden régi adatot, melyet az üstökösökről fel tudott kutatni, és sok évi fáradságos és érdemes munkájának eredményét „Cometographia“ című könyvében bocsátotta nyilvánosságra. Főképpen azon fáradozott, hogy kikutassa, mily alakú pályát írnak le az üstökösök a Nap körül? *Hevelius* azt találja, hogy az üstökösök parabolákat írnak le a Nap körül, „olyanformán mint az elhajított kő a levegőben“. Azt is lehetségesnek találja, hogy az üstökösök Nap körüli útja hiperbola-alakú de, teszi hozzá, a megfigyelések elégtelensége folytán ezt eldönteni nem lehet.



14. rajz. Az 1652-iki üstökös képe *Hevelius* „Cometographiá“-jából.

Dörffel (1643–1688) plaueni diakonus szorgalmas üstökös-megfigyelő volt, könyvében, melyben az 1680-i üstökösre vonatkozó megfigyeléseit közli, a következő érdekes megjegyzést teszi: „Nem lehetne-e *Hevelius* föltevését javítani? Ennek és a többi üstökösnek pályája vajjon nem-e oly parabola, melynek gyújtópontja a Nap középpontjába esik?“

Asztronómia és asztrofizika. *Borelli*, *Petit*, *Hevelius* és *Dörffel* sejtelmei egyaránt közel jártak a valósághoz. Az üstökösök pályái csakugyan vagy ellipszisek, vagy hiperbolák és a legtöbbnek pályája parabolaként tűnik föl előttünk.

Az üstökőspálya alakja különös érdeklődésre tarthat számot, mert hiszen azt tudhatjuk meg belőle, vajjon valamely üstökös évek hosszú sora után megjelenik-e újból az égbolton, avagy örökre elvész-e a mindenségben. Az üstökőspálya ismerete továbbá még igen becses útmutatásokkal szolgál az üstökösök egyéb sajátságai földerítéséhez.

Első látszatra ki gyanítana összefüggést a kézzel eldobott kő mozgása és az üstökösök valódi szerkezete között? Pedig kétségtelen, hogy az üstökösök mivoltának felismeréséhez Galilei ejtő kísérletei szolgáltatták az előjátékot, folytatását Kepler szép törvényei és Newton nagy felfedezése az általános tömegvonzásról, befejezését pedig az üstökösök és meteorrajok közti összefüggés felderítése. A kérdés kizárólag ezen égitestek *mozgásának* felismerésén fordult meg. Beláthatjuk ennélfogva, hogy e mozgások tanulmányozása fontos volt s hogy azok a nagynevű férfiak, kik életüket a csillagászat emez ágának szentelték, megbecsülendő, szép munkát végeztek.

Az a tudomány, a mely kizárólag az égitestek helyeinek pontos meghatározásával és mozgásaik tanulmányozásával foglalkozik, a tulajdonképpeni *asztronómia*. A közönségnek általában kevés tudomása szokott lenni erről az asztronómiáról. Csak olykor hall felőle, ha valamely „szenzációs“ felfedezés kapcsán kiderül, hogy a csillagos eget nemcsak nézni lehet, hanem hogy számítás útján is elleshetjük oly titkait, melyeket az emberi szem elől mintegy gondosan elrejtett. Ilyen, az egész művelt közönséget érdeklő fölfedezés volt az, midőn Adams és Leverrier számítás útján fedezték föl a Neptunt s a midőn Maxwell megfejtette a Saturnus-gyűrűk rejtélyét, vagy végre az, hogy előre ki lehetett számítani, hogy az égnek mily helyén fog idei megjelése alkalmával tartózkodni a *Halley-üstökös* — 75 évnyi hosszú távollét után, mely idő alatt emberi szem nem láthatta

és hogy valóban azon a helyen találták meg, melyet a számítás részére kijelölt. Hogy jobban megértsük az üstökösök sajátos világát, egy szempillantást kell vetnünk az asztronómia műhelyébe. E futólagos szempillantásnak is csak az a célja, hogy meggyőződjünk, miszerint a matematikai asztronómia útjai égyáltalában nem titokzatosak, hogy e tudomány érdeklődésünkre joggal tarthat igényt és hogy éppen az üstökösök természetének megismerését ő tette lehetővé.

A csillagászat másik nagy birodalma — s ez az, a melyet csillagászat alatt közönségesen érteni szoktunk — a távcső fölfedezésének köszöni létrejöttét. A távcső soha nem sejtett világokat tárt föl az emberi szem előtt: a Nap foltjai, új bolygók egész serege, a bolygók holdjai, a Holdon levő hegyképződmények, csillaghalmazok, ködfoltok, egymásután léptek elő az ismeretlenség homályából mindig újabb és újabb tápot adva a kutató, vizsgálódó emberi észnek. A fotográfia is csakhamar alkalmazást talált a csillagászatban és azóta szinte nélkülözhetetlen segítőtársává fejlődött, a színképelemzés pedig az égitestek chemiájával, hőmérsékletével, halmazállapotával ismertetett meg bennünket.

A távcső mutatta meg, hogy vannak oly üstökösök, melyeket szabad szemmel sohasem láthatunk, a melyek mindig „teleszkópikusak” maradnak, a távcső tette lehetővé, hogy az üstökösök fejében végbemenő sajátságos változásokat észrevehessük és figyelemmel kísérhessük; a fotográfia pedig híven megörökítette e változások egyes mozzanatait, sőt érzékenyebbnek bizonyult a leghatalmasabb távcsővel felfegyverzett emberi szemnél: a *Halley-üstökös* legutóbbi felfedezését is a fotográfiának köszönjük. A színképelemzés végre azt is tudomásunkra juttatta, hogy az üstökösökben mily anyagok és milyen halmazállapotban vannak jelen.

Csak természetes, hogy ez a sok érdekes felfedezés számtalan embert buzdított a csillagászat eme részének művelésére,

melyet *fizikai csillagászat*-nak vagy *asztrofiziká*-nak szokás nevezni. A nagyközönség érdeklődése is első sorban és majdnem kizárólag az asztrofizikának szól, a mi nagyon könnyen érthető, mert a matematikai asztronómia rideg és bonyolódott formulái, fáradságos számításai csak igen kevés emberre gyakorolnak vonzó erőt, a legtöbb előtt pedig örök rejtély maradnak. De nem szabad elfelejtenünk, hogy úgy a matematikai asztronómia — vagy helyesebben égi mechanika — mint a fizikai csillagászat is, egyetlen közös cél felé törekednek s ez a mindenség megismerése; csak a szempont különböző, melyből a mindenséget vizsgálat alá veszik és különböző az eredmények és módszerek pontossága.

Messier, az „üstökös vadász“, megvetéssel tekintett minden elméletre. Csak kis távcsöve mellett érezte jól magát és boldogsága tetőpontra szállott, ha sikerült új üstökös felfedezésével a többi csillagászokat megelőznie. Csak akkor volt megilletődve és az égi mechanika valamelyes értékének halvány sejtelve mégis csak földerengett lelkében, mikor 1759-ben a Halley-üstökös csakugyan visszatért, a mint azt Halley 75 évvel előbb megmondta. Leverrier, a párizsi csillagvizsgáló egykori híres igazgatója, ki a Neptunt íróasztalán, matematikai formulái segítségével fedezte fel, sohasem ereszkedett le annyira, hogy megfigyeléseket is végzett volna és a megfigyelést alsóbbrendű munkának tartotta.

Leverrier gőgje és Messier megvetése két szélsőség, melyek között számtalan fokozat lehetséges. Ma már egyáltalában lehetetlen, hogy valaki a csillagászat valamennyi ágát egyaránt művelje. Képességei és hajlamai szerint mindenki csak a csillagászat egy bizonyos részével foglalkozik, de mindenkinek, a ki a csillagászat iránt igazán érdeklődik, áttekintést kell szereznie az egészről, tájékozódást arról az összefüggésről, mely a sok látott és megfigyelt tünemény között található.

II.

Az üstökösök pályája és mozgása.

A pályák alakja. Látszólagos és valóságos pálya.

Az előbbieken említettük, hogy Hevelius, Petit és mások helyesen sejtették, hogy az üstökösök a Nap körül szabályos pályát írnak le s hogy ennek a pályának alakja ellipszis, parabola vagy hiperbola. Néhány szóval elmondjuk, hogy mit kell ezen pályaalakok alatt érteni. A kört mindenki ismeri: könnyen meg is rajzolhatjuk körzővel vagy pedig ennek híján a papirosba szúrt gombostű és reá erősített fonál segítségével, melynek végére kis hurkot kötünk s a belé helyezett czeruza hegyét a papiroson a tű körül forgatjuk úgy, hogy a fonál mindig feszes legyen. A tű itt a középpont helyét foglalta el és mivel a fonál a forgatás alatt mindig egyforma hosszú maradt, következik, hogy a körvonal bármelyik pontja a középponttól egyforma távolságban van. Képzeljük a tű helyébe a Napot, a czeruza helyébe egy égitestet. Ha ez az égitest most úgy forogna a Nap körül, hogy ettől mindig egyenlő távolságban marad s ha eközben mindig egy síkban is tartózkodott (czeruzánk hegye folyton a rajzpapiros síkjában maradt, forgatás közben nem emeltük föl, sem a papiroson át nem szúrtuk), akkor azt kell mondanunk, hogy ez az égitest a Nap körül kört írt le, pályája köralakú. Csakhogy az égitest nem hagy látható nyomot az égen, mint czeruzánk a papiroson. Hogyan lehetne tehát megállapítani, hogy napkörüli útja vagy pályája köralakú-e?

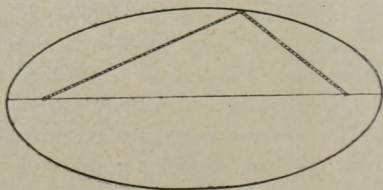
A felelet nagyon egyszerű: először is meg kell állapítani, hogy mozgása állandóan egy és ugyanazon síkban ment végbe, továbbá meg kellene mérni távolságát a Naptól. Ha ez a távolság mindig ugyanaz, akkor bizonyos, hogy a pálya, melyet az égitest a Nap körül leírt, kör. Hogy az égitestek távolságát meg lehet mérni, azt már tudjuk. Azt pedig, hogy ez a pálya síkban fekszik-e, könnyű eldönteni. Tapasztalásból tudjuk, hogy az ú. n. állócsillagok igen hosszú időközön át nem változtatják helyzetüket az égen. Rögzített pontok ezek, melyeknek helyzetét az égen pontosan megadhatjuk az egyenlítői koordinátákkal, melyeket már ismerünk. Képzeljük most magunkat a Napra és készítsünk égi glóbuszt, melyen az állócsillagok föl vannak tüntetve éppen úgy, mint a Földünket ábrázoló gömbön a helységek. Azt is tudjuk már, hogy az égitest mozgása közben látszólag ezen állócsillagok között mozog tovább s hogy mi egyenlítői koordinátáinak megfigyelésével meg tudjuk adni azt a helyet, a melyet minden egyes észlelés alkalmával éppen elfoglalt. Ezeket az egyes megfigyelt helyeket, koordinátáiknak megfelelően, kis pontokkal jelölhetjük a mi égi glóbuszunkon, melynek középpontjába kell képzelnünk a Napot; ez most a mi gondolatbeli észlelési helyünk. Képzeljük a glóbuszt egy síkkal kettémetszve, úgy hogy a metszés a glóbusz középpontján menjen át. A metszés helyén az így keletkezett két félgömb pontos köralakot mutat s egyszersmind az efféle kör a lehető legnagyobb. Ennél nagyobb kört nem tudnánk a glóbuszon leírni. Ebből most viszont az következik, hogy ha a glóbuszon egy legnagyobb közt rajzolok, akkor ez oly síkban fekszik, mely átmegy a glóbusz középpontján. De ezzel most felelhetünk a mi kérdésünkre is. Ha a megfigyelt mozgó égitestnek a glóbuszon fölrajzolt helyei egy legnagyobb körön ieküsznek, akkor bizonyos, hogy az égitest mozgása közben nem lépett ki egy oly síkból, mely a Napon átmegy.

Nem szabad elfelejtenünk, hogy az egész idő alatt a Napon képzeltük magunkat. A Napról nézve tehát, a mi mozgó égitestünk látszólag egy legnagyobb kört írt le az égen; másrészt a parallaxis-mérésekből tudjuk pl., hogy ezen mozgása alatt a Naptól való távolsága mindig ugyanaz maradt, ennél fogva kimondhatjuk, hogy a mi égitestünk valóságos pályája is kör.

De ebből most az is világos, hogy valamely égitest mozgása közben az égen *látszólag* legnagyobb kört írhat le és *valóságos* pályájának még sem kell körnek lennie, hanem lehet akármilyen más szabályos, vagy szabálytalan görbe. Mert hiszen a Napra nézve látszólagos legnagyobb kör nem mond mást, csak azt, hogy a mozgás síkban ment végbe. Már pedig a síkban számtalan különböző görbét húzhatok. Ha a pálya *valódi alakját* is meg akarom ismerni, meg kell mérnem az égitestnek mindenkori valóságos távolságát is, vagy — a mi ugyanarra az eredményre vezet — parallaxisát.

Az asztal lapjára helyezett papirosba tűzzünk két gombostűt tetszésszerű távolságban. Kössük a gombostűk mindegyikére egy fonáldarab végeit, mely fonálnak hosszabbnak kell lennie, mint a két gombostű egymástól való távolságának. A cze-ruza hegyével feszítsük meg a fonalat és mozgassuk a cze-ruzát úgy, hogy a fonál mindig kifeszítve maradjon. Görbe vonalat fogunk így kapni, melynek a neve *ellipszis* (15. rajz). Az a két pont, a melybe a gombostűk voltak szúrva, az ellipszis gyújtópontjai. Húzzunk ezen a két ponton át egyenes vonalat; ez az ellipszist két részarányos és egyenlő részre osztja. Neve: az ellipszis nagy tengelye. MÉRŐVESSZŐVEL vagy KÖRZŐVEL könnyen megtalálhatjuk a nagy tengelynek a közepét. Ez lesz az ellipszis középpontja. A két gyújtópont mindegyike a középponttól egyenlő távolságban van. A gyújtótávolság és a nagytengety hányadosa — a mely mindig törtszám — az ú. n. „excentricitás“, az ellipszis *lapultságának* mértéke.

Hagyjuk meg ugyanis változatlanul a fonál hosszát, de helyezzük a két gombostűt közelebb egymáshoz. Ha megmérjük most az ellipszis nagy tengelyét, azt fogjuk találni, hogy épp akkora maradt, mint az előbb; de mivel a két gombostű, a gyújtópontok, közelebb vannak egymáshoz, az előbbi módon kiszámított excentricitás kisebb lesz. Ha távolabb helyezzük egymástól a gombostűket — mindig ugyanazon fonálhosszal — az excentricitást nagyobbaknak fogjuk találni. De azt is fogjuk tapasztalni, hogy minél közelebb helyezzük egymáshoz a két gombostűt, annál inkább hasonlít az ellipszis a körhöz, annál kerekesebb lesz és minél távolabb



15. rajz. Ellipszis rajzolása.

van a két tű, annál elnyúltabb, laposabb az ellipszis alakja. De valamennyinél a nagytengety ugyanakkora, csak az excentricitás más és más. Ha a két tűt ugyanegy helyre szúrom, akkor az excentricitás zérus, az ellipszisből pedig kör lesz.

A míg egyetlen fonállal csak egyféle kört vonhatok, addig ugyanazzal a fonállal számtalan ellipszist lehet megrajzolni. Valamely ellipszis megrajzolásához nem kell mást ismernem, mint a nagytengetyét és az excentricitását (vagy a gyújtótávolságát). Az ellipszis síkvonal, épp úgy mint a kör.

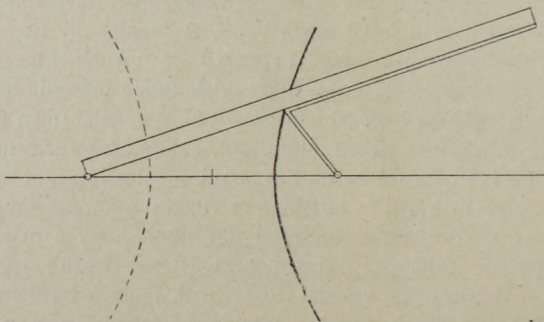
Most már érthetjük azt is, hogy mit jelent az: egy égitest,

pl. üstökös pályája a Nap körül ellipszis alakú. Ez azt jelenti, hogy a Napról nézve az üstökös látszólag legnagyobb kört írt le az állócsillagok között; ha pedig minden egyes megfigyelésnél megállapítjuk az üstökösnek a Naptól való távolságát is, akkor e távolságok végpontjai összekapcsolva egy folytonos vonalat, az ellipszist alkotják.

Ha hiperbolát akarunk rajzolni, (16. rajz) két tűre és egy hosszabb vonalzóra van szükségünk. A vonalzó egyik sarkát az egyik tűhöz illesztjük és úgy fektetjük a papírosra, hogy éle a második tűhöz szoruljon, másik vége jóval túlmenjen e második tűn. Most a vonalzónak távolabb eső végére erősítjük a fonál egyik végét. A fonalat oly hosszúra vesszük, hogy másik vége (a vonalzó éle mentén kifeszítve) a két tű közé essék. Ezt a véget odakötjük a második tűhöz. Ha most czeruza hegyével megfeszítjük a fonalat (úgy, hogy mindig a vonalzó éléhez símuljon), akkor a czeruza hegye először a két tű közé kerül. Forgassuk most a vonalzót sarkával az első tű körül és tartsuk a czeruzával a fonalat egyrészt szorosan a vonalzóhoz, másrészt ügyeljünk, hogy a második tűig terjedő fonálrész szintén egyenletesen feszült legyen, akkor a czeruza oly vonalat fog leírni, mely a tűtől mindinkább távolodik. A vonalzó lehetne végtelenül hosszú is: a vonalat a végtelenig húzhatnám, anélkül, hogy valaha végére érnék. Ha a tű egyik oldalán a vonalból megrajzoltunk annyit, a mennyit éppen jónak látunk, átfordítjuk a vonalzót a tű másik oldalára (a vonalzó sarkát mindig az első tűnél hagyva) és a görbe vonalat kiegészítjük másik részében is. Olyan vonalat fogunk kapni, minő a 16. rajzon látható hiperbola. A fonalat most az első tűre kötve, a vonalzó szabad sarkát a második tű körül forgatjuk. A keletkezett vonal természetesen tükörképe lesz annak, a melyet először rajzoltunk: a két vonal csúcsai szemközt fekszenek s mind-egyiken belül lesz egy tű. A két tű helyét itt is gyújtópontok-

nak, a rajtuk áthuzott egyenest tengelynek nevezzük. A tengelynek az a része, a mely a hiperbola két csúcsa közé esik, itt kisebb, mint a gyújtópontok távolsága. Ha tehát itt is elosztom a gyújtóponttávolságot a tengelylyel, oly számot kapok, mely nagyobb, mint az egység. Ezt úgy is mondhatjuk, hogy a hiperbola exczentriczitása nagyobb, mint egy. A tűk távolságát itt is változtathatom. Láthatjuk, hogy számtalan különféle exczentriczitással bíró hiperbola lehetséges.

Parabola rajzolásához csak egy tű kell, azonkívül egy



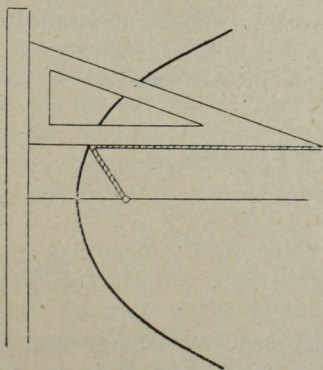
16. rajz. Hiperbola rajzolása.

hosszabb vonalzó és egy derékszögű háromszög (17. rajz). A vonalzót a tűtől nem messze erősítsük az asztalra vagy szorítsassuk le valakivel. A derékszögű háromszög egyik befogóját illeszszük a vonalzónak a tű felé néző éléhez s toljuk addig, míg a másik befogó a tűt érinti. Kössünk a tűre egy fonalat, mely épp olyan hosszú, mint a háromszögnek a tűt érintő befogója; a fonál másik végét pedig erősítsük a háromszög ama csúcsához, mely a tűn túl esik és a vonalzóval nem érintkezik. Ha most czeruzával megfeszítjük a fonalat a

háromszög befogója mentén, akkor a czeruza csúcsa először pontosan középre esik a tű és a vonalzó közé. Toljuk most el a háromszöget akként, hogy az első befogó állandóan a vonalzó élét súrolja, a fonal egyik része a második befogóhoz simuljon és a czeruza s a tű közé eső fonálrész egyenletesen feszülve maradjon. Ismételjük ezt a műveletet a tű másik oldalán, a vonalzót változtatlanul hagyva. Az így nyert görbe parabola lesz.

Ennek is csak egy részét rajzolhatjuk meg, épp úgy, mint a hiperbolának.

Háromszögünknek az a befogója, melyre a fonalat erősítettük, igen hosszú is lehetne s akkor mindig többet és többet rajzolhatnánk meg a parabolából, de mindig távolodnánk is a gyújtóponttól (a tűtől) és a tengelytől, attól az egyenestől, melyet a gyújtóponton át húzhatunk, mikor a derékszögű há-



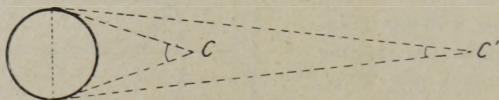
17. rajz. Parabola rajzolása.

romszög második befogója érinti a tűt. A parabolának csak egy gyújtópontja van; középpontja nincs, jobban mondva végtelenül távol van. Ebből a végtelen távolságból nézve, a parabola csúcsa és gyújtópontja egyforma távol van s ennél fogva a parabola excentricitása mindig egyenlő az egységgel.

Míg a kör és az ellipszis zárt görbe vonalak, a hiperbolánál és parabolánál, ha egyik pontjukból elindulva mindig a görbe mentén haladunk, a végtelenbe fogunk eltávolodni, anélkül, hogy a kiindulás pontjához visszatérhetnénk.

Bármennyire különbözőnek lássék is alakra ez a négy görbe vonal, mégis van sok közös sajátságuk, melyeknél fogva egyetlen család tagjainak tekinthetők. Láttuk, hogy a kör excenricitása zérus; az ellipsziseké mindig nagyobb, mint zérus, de kisebb, mint az egység; a parabola excenricitása mindig egyenlő egygyel, a hiperbolaké mindig nagyobb, mint az egység. Az excenricitás növekedése vagy fogyása tehát átvezet az egyik görbétől a másikba. Úgy is előállíthatók ezek a görbék, ha a körkúpot különböző irányokban síkokkal átmetszszük. Azért közös néven kúpszeleteknek szokás nevezni őket.

Kepler törvényei. A Föld-pálya alakját könnyű meg-



18. rajz. A Nap látszólagos átmérője.

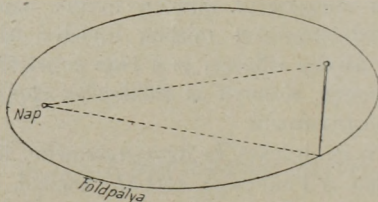
határozni. A Földről nézve, a Nap az égen látszólag legnagyobb kört ír le az állócsillagok között. Ennélfogva a Napról nézve, a Föld is legnagyobb kört ír le és mi már tudjuk, hogy ennek jelentése az, hogy a Föld pályája oly síkban fekszik, mely átmegey a Nap középpontján. De a legegyszerűbb tapasztalásból azt is tudjuk, hogy valamely tárgy annál nagyobbbnak látszik, minél közelebb van hozzánk és annál kisebbnek, minél távolabb van tőlünk. A Nap az égen meglehetősen nagy köralakú korong képét mutatja. Képzeljünk szemünkből, C vagy C'-ből, két egyenest vonva a Nap korongjának két szemközti levő pontjához (18. rajz). Azt a szöveget, a mely ekként C-nél vagy C'-nél keletkezik, könnyen megmérhetjük pl. szextánszal (vagy pontosabban

mikrométerrel, héliométerrel). Ez a szög a Nap látszólagos átmérője. Ha a Naptól mindig egyenlő távolságban lennénk, ez a szög is változatlanul mindig ugyanaz maradna. De pontos mérések azt mutatják, hogy ez a szög napról-napra változik, még pedig szabályosan. Legnagyobb január 1-én $32' 32''$, legkisebb június vége felé, $31' 28''$. Ebből rögtön következik, hogy január 1-én vagyunk legközelebb a Naphoz. Vegyük ezt a távolságot egységül. Január 12-én pl. azt találjuk, hogy a Nap látszólagos átmérője $32' 31''$, vagyis $1''$ -cel kisebb. Ennélfogva aznap már távolabb vagyunk a Naptól. De az most már egyszerű háromszögtani számítás, hogy hányadrészével kellett a január 1-i távolságnak megnagyobodnia. Ezt a változást pl. minden tizedik napra kiszámíthatjuk és eredményeinket rajzban tüntetve fel, azt látjuk, hogy a Föld pályája ellipszis és a Nap ennek az ellipszisnek egyik gyújtópontja. Könnyű az előbbiek alapján az excen-tricitást is meghatározni.

Az egészben az érdekes és figyelemreméltó, hogy mi megtudtuk állapítani a Föld-pálya *alakját*, anélkül, hogy a Nap valódi távolságát, pl. *km*-ekben ismertük volna. Nekünk teljesen elegendő volt, hogy e távolság változásait ki tudtuk számítani a legkisebb Föld-Nap-távolság hányadrészeiben.

Mi az égitesteket a Földről szemléljük; a Napot kivéve, útjuk, melyet az égen látszólag leírnak, rendkívül bonyolódott görbe vonal, mely még nem is fekszik legnagyobb kör mentén. Hogyan tudjuk mi mégis megállapítani, hogy valamely égitest a Nap körül milyen utat ír le? Az előzmények után ez elég egyszerű. Az imént rajzolt ellipszisünk valamelyik pontjába (19. rajz) szúrjunk tetszés szerinti ferde helyzetben gombostűt. A tű hossza jelentse nekünk az égitest távolságát, feje magát az égitestet, iránya azt az irányt, melyben mi a Földről az égitestet látjuk. Már most a Nap (az ellipszis gyújtópontja), a Föld (az ellipszis kerületén az a pont, hol

a tű a papirosba van szúrva) és a harmadik égitest (a tű feje) háromszöget alkotnak. Ebből a háromszögből mi ismerjük a Nap-Föld-távolságot, ismerjük az égitest távolságát a Földtől (ha megmérjük parallaxisát) és ismerjük azt a szöveget is, melyet e két távolság bezár (a gombostű és a beszúrás helyétől a gyújtópontához vont egyenestől alkotott szög), mivel megmértük úgy a Nap, mint az égitest egyenlítői koordinátáit, melyekből az említett szöveget meg lehet határozni. De a geometria elemi tételei szerint, ha ismerünk valamely háromszögből két oldalt és a tőlük befogott szöveget, akkor kiszámít-



19. rajz. Égitest pályájának meghatározása.

hatjuk a harmadik oldalt és a hátralévő két szöveget. Másszóval: *kiszámíthatjuk, mily messze van az égitest a Naptól és hogy a Naptól nézve mily helyet foglal el az égen, mik az ú. n. heliocentrikus koordinátái.* Az égitest útját folytonos méréssel kísérve, egy-egy ilyen háromszöget fogunk kiszámítani minden egyes megfigyeléshez megfelelően. Ha annyi időre terjedő megfigyelésünk van, a mely felöleli az égitest egy teljes körfutását az égen, akkor a Nap körüli pályáját is ismerni fogjuk. (Példánkban ez annyit jelentene, hogy ellipszisünkre köröskörül szurkáltunk különböző hosszúságú és hajlású tűket; a fejek jelzik az égitest pályáját.)

Ezt a rengeteg számítást Ke p l e r vitte keresztül a Marsra vonatkozólag. Az anyagot Ty c h o és saját megfigyelései szolgáltatták. 22 évi elképzelhetetlenül fáradságos munka után (Ke p l e r nem rendelkezett az újabb matematika kényelmes segédeszközeivel), mely minden ízében magán hordja a nagy lángész bélyegét, kimondhatta azt a ma már minden művelt ember által ismert törvényt: *a bolygók a Nap körül ellipszisben keringenek; a Nap ezen ellipszis egyik gyújtópontját foglalja el.*

Ezt a gondolatmenetet meg is fordíthatjuk úgy, hogy kimondhatjuk azt a legfontosabb eredményt, hogy *ha ismerjük valamely égitest napköri pályáját, akkor kiszámíthatjuk belőle azt a pályát, melyet az égitest a Földről nézve az állócsillagok között látszólag leír.* Rövidség kedvéért a napköri pályát *valódinak*, azt a pályát pedig, melyet mi a Földről nézve látunk, *látszólagosnak* fogjuk revezni.

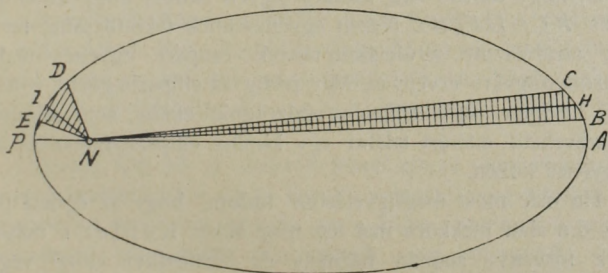
Ha két valódi pályáról papirosból mintát készítünk, akkor ez híven adja vissza az összes szögeket, pl. a két sík hajlása tökéletesen ugyanaz, mint a valóságban és így tovább. Azonban a távolságokat kicsinyítettük, de valamennyit ugyanabban az arányban; pl. valamennyi távolság ezermilliószer kisebb a valóságnál. Mivel a látszólagos (geocentrikus) koordináták szögek, következik, hogy ezek nem változnak meg, akár kicsinyre készített mintámon tanulmányozom azokat, akár a valóságban. A *valódi* távolságok itt tehát nem fontosak; ellenben fontos, hogy a mintán két távolság viszonyszáma ugyanakkora legyen, mint a valóságban a megfelelő távolságoké.

A miket eddig az üstökösökről és az égitestekről mondtunk, azok mind csupa geometriai vonatkozások voltak: távolságok, szögek, koordináták, pályák alakjai. Ke p l e r nem érte be ennyivel; ő azt is akarta tudni, hogy *miképpen mozognak az égitestek az ő valódi pályáikban.*

Ha egy gyalogos minden másodperczben pl. másfél méterrel halad előre, akkor azt mondjuk, hogy sebessége másfél méter másodperczenként. Azt is mondhatnók, hogy sebessége 90 m. perczenként, vagy 5·4 km. óránként. Ha egy vonat másodperczenként pl. 20 m.-nyi utat tesz meg, akkor sebessége 20 méter másodperczenként, vagy 1200 m. perczenként, vagy 72 km. óránként és így tovább. Ha ezt a sebességét állandóan betartja, akkor azt mondjuk, hogy egyenletes sebességgel halad. Ha azonban valamely tárgy az egyik másodperczben pl. 1 m.-nyi utat tett meg, a következő másodperczben 3-at, a harmadikban 5-öt és így tovább, akkor már nem mondhatjuk, hogy sebessége egyenletes. Mivel az út minden másodperczben szabályosan 2 m.-rel lett nagyobb, a sebesség tehát szabályosan vagy egyenletesen változott, azt fogjuk mondani, hogy ennek a testnek *egyenletesen gyorsuló* mozgása van. Épp úgy lehet egyenletesen lassúdó mozgás, vagy lehet az is, hogy a mozgás valamely más törvény szerint változik. Annak felismerése, hogy valamely mozgás változó sebességgel megy végbe, még nagyon kevés ahhoz, hogy a mozgó testet gondolatban követhessük. Kepler első törvénye képesít bennünket arra, hogy valamely bolygó napköri útjának alakjáról szabatos fogalmat alkothassunk. Második törvénye megmondja, hogy milyen szabály szerint megy végbe ezen az úton az égítést mozgása. Ennek a törvénynek alapján gondolatban kísérhetjük azt a mozgást, azaz megmondhatjuk, kiszámíthatjuk, hogy ha valamely égítést ma pályájának egy bizonyos pontjában volt, akkor holnap vagy egy hét, egy év, tíz év múlva pályájának melyik pontjában lesz.

A Nap az ellipszis-pálya egyik gyújtópontjában van, pl. a 20. rajzon *N*-ben. Az égítést *P*-ben legközelebb kerül a Naphoz, *A*-ban legtávolabb van tőle. Ez a két hely az ellipszis nagy tengelyének két végpontja, az ú. n. perihélium (napközel) és az afélium (naptávol) pontja.

Tegyük fel, hogy az égitest B -ből kiindulva, pontosan 24 óra alatt C -be ért. Máskor meg D -ből kiindulva, ugyan-csak 24 óra alatt érjen E -be. B -ből és C -ből, illetve D -ből és E -ből vonjunk egyeneseket N -hez. Akkor lesz két háromszögünk. A háromszög területét a geometria elemei szerint úgy kapjuk, ha a háromszög alapját megszorozzuk magasságával és e szorzatnak felét vesszük. A BCN háromszögben az alap BC , a magasság a reá merőleges NH ; DEN háromszögben az alap DE , a magasság NI .



20. rajz. Kepler második törvénye.

Kepler második törvénye, mely szintén gondos megfigyeléseken alapul, azt mondja, hogy ily két háromszög területe mindig egyenlő. Mivel az NH magasság nagyobb, mint az NI magasság, ez a két terület csak úgy lehet egyenlő, ha az NH -hoz tartozó alap, BC , kisebb, mint az IN -hez tartozó DE . Ennélfogva BC , az égitest útja, kisebb, mint DE . De ezeket az utakat az égitest egyenlő idők alatt tette meg. Ennélfogva BC -ben lassabban, DE -ben gyorsabban mozgott. Akárhogyan rajzoljuk meg az ellipszisen a bolygó 24 órai útjához tartozó háromszöget, területe mindig ugyanaz lesz, mint

pl. BCN -é. B -ben az égitest távolabb van a Naptól, mint pl. E -ben. Az égitest tehát annál lassabban mozog, minél távolabb van a Naptól és annál gyorsabban, minél közelebb kerül hozzá. Sebessége legnagyobb a perihéliumban, P -ben, legkisebb az aféliumban, A -ban.

24 óra helyett akármilyen más kisebb vagy nagyobb időközt is választhattunk volna, az eredmény ugyanaz maradna: *az ugyanazon idő alatt megtett úthoz tartozó háromszögek területei egyenlők.* Csak ha a bolygó sebességét akarjuk különböző naptávolságok mellett kiszámítani, kell ügyelnünk arra, hogy az idő elég kicsiny legyen ahhoz, hogy az ellipszis BC , DE , stb. részeit egyeneseknek tekinthessük, mert az alkalmazott területszámításunk csupán egyenesvonalú háromszögekre érvényes. Már pedig az ellipszis görbe vonal. De ha igen nagy ellipszist rajzolunk, akkor nem fogunk észrevehető eltérést találni egy kicsiny ellipszis-ívrész és az egyenes között.

Ha már most megfigyelésből tudom, hogy az égitest pl. 24 óra alatt mekkora utat tett meg, akkor Kepler e második törvénye alapján bármely és bármennyi előző vagy következő napokra kiszámíthatom az út nagyságát, más szóval gondolatban előállíthatom az égitest mozgását.

Kepler megfigyelések alapján még egy harmadik törvényt vezetett le, mely összefüggést állít fel két bolygónak keringés-ideje és pályáik nagytengelei között. Keringés-időnek nevezzük azt az időtartamot, mely eltelik az alatt, hogy az égitest pl. a perihéliumból kiindulva végigfutja elliptikus pályáját és ismét visszatér a perihéliumba. A keringés-időket aránylag könnyű megfigyelni, ellenben sokkal nehezebb meghatározni a távolságokat. Ha ismerjük több bolygó keringés-idejét, de csak egyikük pályájának a nagytengeletét, akkor Kepler harmadik törvénye segítségével a többi pálya nagytengeletét is ki tudjuk számítani. Ez a törvény így

szól: két bolygó keringés-ideinek négyzetei úgy viszonylanak egymáshoz, mint a nagytengelyek köbei.

Newton törvénye. Az általános gravitáció. Azok a szép törvények, melyek Kepler nevét halhatatlanná tették, óriási lépéssel vitték előre az asztronómiát. De a vizsgálódó emberi szellemet mégsem elégítették ki teljesen. Három látszólag teljesen különálló tételt fejeztek ki. Nincsen köztük összefüggés, belső kapocs? Nem volna-e föltálálható oly közös forrás, melyből e három törvény fakad? Ilyen összefüggés, ily közös forrás valóban van és a nagy Newton (1642—1727) örök érdeme, hogy az összefüggés egyszerű alapját feltárta, hogy megtalálta azt a törvényt, a melynek a legtávolabbi állócsillagok épp úgy hódolnak, mint a Nap körül keringő bolygók vagy üstökösök, a Föld mellett elsurranó hullócsillagok, vagy a kezünkben leejtett kődarab.

Valamely test, pl. az asztalon fekvő könyv vagy az utcán heverő kődarab nem képes helyét önmagától megváltoztatni; mozgásban levő test viszont nem képes önmagától megváltoztatni mozgásának sem irányát, sem sebességét; önmagától nem tud megállni. Ha a test mozgásállapotában változás történik, úgy ennek oka nem a testben van, hanem rajta kívül keresendő. Ha követ eldobunk, a vízben levő csónakot meglódítjuk, azt szoktuk mondani, hogy erőt fejtettünk ki. A kőnek avagy csónaknak mozgását erő hozta létre. Ha valamely test bizonyos irányban bizonyos sebességgel mozog, akkor magától sem ezt az irányt, sem sebességét nem tudja megváltoztatni: mindig egyenes vonalban és egyenletes sebességgel haladna tovább. Ha akár az irányban, akár a sebesség nagyságában változást észlelünk, úgy ezt a változást valami külső erőnek kell tulajdonítanunk. Ha valamely testre folytonosan hat egy erő, akkor sebességének vagy irányát, vagy nagyságát, vagy mindkettőt folytonosan

kell változtatnia. Viszont a hol ily folytonos változást észlelünk, folytonosan működő erőt kell keresnünk.

Galilei kimutatta, hogy valamely test, midőn a föld felé esik, egyenletesen gyorsulva mozog. De azt is kimutatta, hogy ez a gyorsulás minden a föld felé szabadon eső testre nézve ugyanaz, bármilyen különböző fizikai vagy kémiai tulajdonságai is legyenek egyébként eme testeknek. Ez rendkívül nagy fontosságú felfedezés volt, mert ezzel bebizonyosodott, hogy az összes földi anyagoknak van *egy* közös tulajdonságuk.

Az anyagnak ama tulajdonságából, hogy valamely erő behatása következtében gyorsulást szenvedhet, következtetést vonhatunk a test tömegére.*) Minél nagyobb valamely tömeg, annál nagyobb gyorsulást okozhat egy másik tömegen. Viszont az az erő, mely valamely tömeget mozgat, annál nagyobb, minél nagyobb a mozgatott tömeg és minél nagyobb az okozott gyorsulás. *Az erő tehát a tömegnek és az okozott gyorsulásnak szorzatával egyenlő.*

Milyen az az erő, mely az égitestek mozgását szabályozza? Newton kimutatta, hogy Kepler második törvényéből következik, hogy ez az erő mindig a Nap felé van irányítva; az első törvényből következik, hogy ez az erő a távolság négyzetével fordítva arányosan változik s végre a harmadik törvény folyománya, hogy az erő egyenesen arányos a bolygó tömegének és a Nap tömegének szorzatával. Ennélfogva a *két égitest között ható erő egyenlő tömegeiknek szorzatával elosztva ezt távolságuk négyzetével.* De mivel másrészt szabadon mozgó tömegnél az erő egyenlő a tömeg és gyors-

*) Az asztronómiában a tömeg mértékegysége más, mint a fizika ú. n. abszolút mértékrendszerében. Az asztronómiában a tömeg „mérete” = gyorsulás \times (távolság)². Más szóval az általános gravitáció Cavandish-féle állandója = 1.

sulás szorzatával, következik, hogy az előbbi New t o n-féle erőnek is ezzel a szorzattal kell egyenlőnek lennie.

De ebből most rögtön érthetővé válik G a l i l e i felfedezése. A szabadon eső test a majdnem gömbalakú Föld felszínéhez közel végzi mozgását. Gömbalakú testnél a New t o n-féle erő úgy hat, mintha a gömb középpontjában lenne egyesítve az egész tömeg. Az eső test távolsága a Föld középpontjától nem más, mint a földgömb sugara. Ennélfogva az eső test és a föld között működő New t o n-féle erő =

$$\frac{\text{kő tömege} \times \text{Föld tömege}}{(\text{földsugár})^2}.$$

Másrészt ez az erő a kőnek gyorsulást kölcsönöz. A kő gyorsulása szorozva a kő tömegével, szintén erő, melynek egyenlőnek kell lennie az előbbi New t o n-féle erővel. Ha felírjuk ezt az egyenlőséget, azt látjuk, hogy a kő tömege az egyenlőség mindkét oldalán előfordul. Az egyenlőség semmit sem fog változni, ha a kő tömegét mind a két oldalon elhagyom. Akkor a következő egyenlőségünk fog maradni:

$$\text{kő gyorsulása} = \frac{\text{Föld tömege}}{(\text{földsugár})^2}.$$

De a föld tömege mindig ugyanaz, sugara is, ennélfogva a gyorsulásnak is bárminő testre nézve csak egyféle értéke lehet.

De a New t o n-féle törvény azt mondja, hogy a gyorsulás a távolság négyzetével fordítva változik. Ha tehát a Föld felszínétől távozom, a gyorsulásnak kisebbednie kell. Minél magasabbra megyek, annál inkább kisebbedik a gyorsulás; és ha a Holdig mennék? A Hold középtávolsága a Földtől 60 földsugár. Ha tehát a Holdra ugyanaz az erő hat, mint a Föld felszínén a szabadon eső kőre, akkor a Hold gyorsulásának a föld felé $60 \times 60 = 3600$ -szor kisebbnek kell lennie

mint a föld felszínén szabadon eső kő gyorsulásának. A Hold keringés-idejéből és ismert távolságából, föltéve, hogy a Hold pályája kör, ki lehet számítani ezt a gyorsulást, mely csakugyan 3600-ad része a földfelszíni gyorsulásnak. Ezzel be volt bizonyítva a földi ú. n. nehézkedés és az égitestek gravitációjának azonossága: Kepler törvényeinek közös forrása föl volt tárva. Lényeges azonban megjegyeznünk, hogy míg Kepler törvényeiben csak a távolságok viszony-számai szerepeltek, addig Newton törvényében a valódi távolság mérvadó.

Newton törvényének fontossága még jobban szembetűnik, ha keressük, minő pályát ír le két égitest, mely a Newton-féle törvénynek engedelmeskedik? A feleletet szintén Newton adta meg: az egyik égitest a másik körül nemcsak ellipszist írhat le, hanem *parabolát, hiperbolát vagy kört is*, szóval akármilyen *kúpszeletet*. A pálya alakja csak attól függ, hogy annak valamely pontjában mily sebességgel bírt az égitest.

Ha az üstökösök anyaga nem olyasvalami, a mi teljesen különbözik minden földi és a többi égitestek anyagától, szóval, ha az üstökösöknek, eltekintve minden egyéb tulajdonságaiktól, van tömegük, akkor alá vannak vetve Newton törvényének, tehát a napkörüli útjuk csak valamilyen kúpszelet lehet.

Láthatjuk, hogy ennek a következtetésnek egészen más színezete van, mint Tycho, Kepler vagy Hevelius nézeteinek az üstököspályák alakjáról. De hogyan lehet meggyőződnünk e következtetés helyességéről? Természetesen csak úgy, hogy a megfigyelésekből kimutatjuk, hogy az üstököspályák valóban kúpszeletek. Csakhogy itt nagy nehézségbe ütközünk. Láttuk, mily óriási fáradságába került Kepler-nek kimutatni azt, hogy a bolygópályák ellipszisek, bár sok évi gondos megfigyelésanyag állott rendelkezésére. Az üstökös útja azonban nem kísérhető megfigyelésekkel

éveken át; az üstökös hirtelen feltűnik, néhány hétig vagy hónapig, ritkább esetekben egy évig látható s azután ismét eltűnik a leghatalmasabb távcsővel fölfegyverzett szem elől is. Ha az üstökös útja parabola vagy hiperbola, akkor az üstökös a Naptól mindinkább eltávozik és soha többé nem térhet vissza. De ha ellipszis, akkor a Nap körül zárt pályát ír le és ismét visszatér. De az üstökösnek ez az útja talán évekig tart, mialatt mi nem láthatjuk s ha esetleg újra föltűnik, hogyan tudjuk azt, hogy ez ugyanaz az üstökös, mely évekkel ezelőtt tündökölt az égen? Vagy hogyan tudjuk azt, hogy valamely újonnan föltűnt üstökös nem azonos valamely régebben látott üstökössel? Honnét tudják az asztronómusok, hogy pl. az idén megjelelenő Halley-üstökös ugyanaz, melyet Halley látott 1682-ben és hogy ez viszont azonos azzal, a mely 1456-ban, Belgrád megvívása évében, egykorú tudósítások szerint tüneményes ragyogásával és óriási csóvájával egész Európát rettegésbe ejtette?

A megismerés szempontjából már az is szép eredmény lenne, ha az üstökös útjának csak alakját tudnók meghatározni. Ha ez az alak csakugyan kúpszelet, akkor az üstökös is hódol Newton törvényének. De még érdekesebb és szebb lenne, ha az előbb említett többi kérdésekre is feleletet tudnánk adni. Valóban mindezekre a kérdésekre feleletet ad a pályameghatározás Newton törvényével kapcsolatban.

Üstököspálya meghatározása ; pályaelemek. Ha az üstökösök csakugyan nem olyan titokzatos anyagból állanak, a melynek minden tapasztalással ellentétben nincs tömege, akkor mindenesetre Newton törvényét fogják követni mozgásukban és oly kúpszeleten fognak haladni útjukban, a melynek gyújtópontjában a Nap foglal helyet. De a kúpszeletek mind síkidomok. Ennélfogva az üstökös pályájának is egy síkban kell feküdnie, mely átmegy a Nap tömegközéppontján. A Föld pályája is síkban fekszik; hosszú megfigye-

lések alapján tudjuk, hogy ez a sík évszázadok hosszú során át nem változtatja helyzetét az álló csillagokhoz képest, más szóval a Nap látszólagos útja az égen mindig egy és ugyanazon legnagyobb kör. A földpálya síkját az asztronómusok *ekliptiká*-nak nevezik. Érzékszük meg magunknak az ekliptikát egy papírlappal, melyet asztalunkra fektetünk. A papírra rajzoljunk egy kört, mely a Föld útját ábrázolja, a kör középpontjában pedig képzeljük a Napot. Eddig nem ismerünk oly égitestet, mely szintén az ekliptikában keringene a Nap körül. Üstökösünk tehát valószínűleg egy az ekliptikától különböző síkban fogja befutni pályáját. Ezt az utóbbi síkot egy másik papírlappal fogjuk magunknak megérzéskíteni. Az ekliptika helyzetét változatlanul megtartja; az első papírost, mely számunkra az ekliptikát jelenti, erősítsük tehát asztalunk lapjára pl. rajzszögekkel, az állócsillagokat pedig a szoba falain, mennyezetén és padlóján képzeljük elhelyezve. Vegyük most a második papírlapot, a melyen az üstökös pályája fog feküdni. Fekteszük a mi ekliptikánkra úgy, hogy a papírnak egyik széle éppen átmenjen az ekliptikára rajzolt kör középpontján, a Napon. A két sík ekkor összeesik. Forgassuk most ezt a papírlapot a Napon átmenő éle körül, de úgy, hogy ez az él változatlan maradjon. Ezt a lapot addig forgathatom, a míg ismét eléri az ekliptikát. Eleinte a két lap egybeesett vagy geometriai nyelven szólva 0° -nyi szöget alkottak. Forgatás közben ez a szög mindig nagyobb lett, 20° , 90° , 130° és végre 180° , mikor a forgatott lap ismét az ekliptikába esett. Tegyük föl, hogy a lapot addig forgattuk, míg a forgás szöge elérte a 30° -ot és hogy ebben a helyzetben állandósítjuk (pl. kemény papírból kivágott ékkel). Ekkor azt mondjuk, hogy a két papírlapnak (a mi esetünkben az ekliptika és az üstököspálya síkjának) hajlása 30° . A forgatott papírlap éle átmegy a Napon (az első papírlapra rajzolt kör középpontján). De ilyen, a Napon átmenő vonalat mi számtalant

rajzolhatnánk és mindegyikhez úgy illeszthetnők a második papírlapot, hogy hajlása az elsőhöz 30° legyen. Ebből láthatjuk, hogy a hajlás egymagában még nem elég ahhoz, hogy a pályasík fekvését az ekliptikán meghatározza. Meg kell még mondanunk azt is, hogy ezen számtalan vonal közül melyikhez gondoljuk illesztve a papírlapot. Rögzített asztalunkhoz és a reáérősített ekliptikánkhoz képest e vonal helyzetét a falakon képzelt állócsillagok segítségével meg kell adnunk.

Tudjuk már, hogy mi a tavaszpont (7. lap). Válaszszuk ki pl. a szoba egyik sarkát és pontosan az asztallap magasságában valami kis jellel jelképezzük magunknak a tavaszpontot. Most tűt szúrunk az ekliptikára rajzolt kör középpontjába (mely a Napot ábrázolja) és fonalat feszítünk ki a tűből a szoba sarkában levő jelhez. A fonál irányát czeruzával megjelöljük az ekliptikát jelképező papiroson úgy, hogy a tűtől kezdve a földpályát ábrázoló körig egyenest húzunk. Az utóbb rajzolt egyenestől, mint zérusponttól kezdve gondoljuk a kört 360° -ra felosztva, úgy hogy a foksámok ellenkező irányban haladjanak, mint óralapjainkon. Ha most a zérusból kiindulva haladunk egészen addig, a míg először találkozunk azzal a vonallal, melyhez a pályasíkot ábrázoló papírlap illeszkedik, az ott levő foksám, pl. 55° , pontosan meghatározza ezen vonal fekvését a tavaszponthoz képest. Ha a megkezdett irányban tovahaladunk, 180° után ismét találkozunk a vonallal, példánkban 235° -nál. Képzeljük most, hogy a pálya síkja az ekliptika alatt folytatódik (a mit kellően bemetszett papírlapokkal meg is valósíthatunk). A két lap az előbbi vonal mentén metszi egymást. Ezt a vonalat *csomóvonálnak*, azt a szöget pedig, melyet a tavaszpont irányával alkot, a *csomó hosszúságának* nevezik az asztronómiában (hasonlóan a földrajzi hosszúsághoz). Pédánkban ez 55° vagy 235° volt. A hajlás és a csomó hosszúsága teljesen meghatározza a pályasík fekvését az ekliptikához képest: ez

két *pályaelem*, melyeknek ismerete elengedhetlenül szükséges ahhoz, hogy valamely üstökös (vagy bármily más égitest) útját pontosan megadhassam. Két másik pályaelemet már ismerünk, t. i. a nagytengelyt és az exczentricitást. Ez a két elem meghatározza az üstökös pályája alakját és nagyságát. A parabolának azonban nincsen határozott hosszúságú tengelye; azért itt a perihélium-távolságot kell egyik elemnek választani (a parabola csúcsának távolsága a gyújtóponttól). Azonkívül a parabola exczentricitása mindig ismeretes, mert $= 1$.

Az ekliptika az üstököspálya síkját két részre osztja. Az egyik az ekliptika északi felében van, a másik a déliben. (Mintánkon az északi fél legyen az asztal lapja fölött, a Föld északi sarka is ebben a félben képzelendő.) Mozgása közben az üstökös, ha kúpszeletet ír le, melynek gyújtópontjában van a Nap, szükségképpen egyszer átlép a déli részről az északira s egyszer az északiról a délire, még pedig a Nap két ellentett oldalán és természetesen a csomóvonalban, mert hiszen ez az ekliptika és a pályasík metszészvonala. A csomóvonalnak azt a részét, melyben az üstökös akkor van, midőn a déli feléről az ekliptikának az északira lép át, nevezzük *felszálló csomónak*. Az előbb láttuk, hogy a csomóvonal hosszúságaként kétféle szöveget adhatunk. Minden kétség elkerülése czéljából a *felszálló* csomó hosszúságát szokás megadni.

Vágjunk ki papírból pl. egy ellipszist és helyezzük akként az üstököspálya síkjára, hogy egyik gyújtópontja összeessék a Nappal. Az ellipszist ezen pont körül forgathatjuk, láthatjuk tehát azt is, hogy a pálya síkjában számtalan helyzetet foglal el. Ezek közül csak egyetlenegy helyzet felelhet meg a valóságnak s nekünk ezt a helyzetet is kétséget kizáró módon meg kell határoznunk. Ezt könnyen elérhetjük, ha meggondoljuk, hogy most már elégséges az ellipszis tengelyének irányát ismernünk s azt, hogy a perihélium a Naptól

két részre osztott tengely melyik részében van. A tengelynek az a része, melyen a perihélium pontja van, a felszálló csomóval szöget alkot s nekünk csak ezt a szöget kell még meghatároznunk úgy, hogy megmondjuk, mily irányban kell azt megmérni.

Induljunk ki a felszálló csomóból és haladjunk mindig az üstökös mozgásának irányában, mígnem a perihéliumhoz érünk. Az ekként mért szög, mely 0° és 360° között változhatik, meghatározza az ellipszis (parabola, vagy hiperbola) helyzetét a pálya síkjában. Ennek a szögnek a neve: *a perihélium távolsága a felszálló csomótól*. Ne felejtjük el, hogy itt a „távolság“ szó, épp úgy, mint előbb a csomó „hosszúsága“, nem jelentenek méterekben mért távolságot vagy hosszúságot, hanem szögeket. A „perihélium távolsága“ ellenben, melyet előbb a parabolánál említettünk, a perihélium pontjának a legközelebbi gyújtóponttól (a Naptól) mért valóságos távolsága; üstökösöknél a fél nagytengely helyett ezt szokták néha elemnek venni még akkor is, ha a pálya ellipszis vagy hiperbola. Csakhogy a hosszúságot nem méterekben vagy kilométerekben fejezzük ki, hanem mértékegységül vesszük a Föld közepes távolságát a Naptól. Ha pl. azt mondjuk, hogy valamely üstökös perihéliumtávolsága 0.5, ez annyit jelent, hogy mikor az üstökös legközelebb van a Naphoz, akkor a Naptól való távolsága fele a Föld-Nap-távolságnak. Az így megadott távolságot mindenkor átszámíthatjuk kilométerekbe, ha figyelembe vesszük, hogy a közepes Föld-Nap-távolság = 149 500 000 km.

Még azt kell megmondanunk, hogy a hajlás szögét mily értelemben kell mérnünk. Képzeljük, hogy testünkkel a felszálló csomó vonalában fekszünk, úgy hogy e vonal a test hossz tengelyét alkossa, lábunk a Nap felé forduljon, fejünk pedig ott legyen, a hol az üstökös az ekliptika déli feléről átlép az északi. Fordítsuk most testünket és arcunkat úgy,

hogy az üstököst az ő pályája síkjában, a Földet pedig az ekliptika síkjában egy értelemben lássuk mozogni, t. i. úgy, hogy valódi mozgásukban mindkettő arczomtól távolodik. Most egyik karunkat az ekliptika síkjában a Föld mozgásának irányában nyújtjuk ki, másik karunkat pedig az üstökös pályájának síkjában az üstökös mozgása irányában. A két karunktól ekként alkotott szög, az ekliptika síkjától az üstökös pályasíkjáig az ekliptika északi felében mérve, lesz a hajlásszög, mely 0° és 180° között minden értéket fölvehet.

Az eddig ismertetett öt pályaelem minden kétértelműséget kizáró módon meghatározza az üstökőspálya alakját, nagyságát és helyzetét a térben az ekliptikához és az állócsillagokhoz képest. Ha ezeket az elemeket ismerjük, akkor bármely üstökőspályáról pontos mintát készíthetünk magunknak, mely a pálya alakját, nagyságát stb. kisebbített mértékben, de a valósághoz híven fel fogja tüntetni.

De könnyen beláthatjuk, hogy ez az öt pályaelem még nem elég ahhoz, hogy tudjuk, pályájának melyik pontjában van pl. ma valamely üstökös. Hiszen ha már teljes pontossággal ismerem is a pálya alakját, nagyságát, helyzetét, azzal még nincs megmondva, hogy a pálya számtalan pontjai közül melyikben van pl. most éppen a pillanatban az üstökös. Azért szükséges még egy hatodik elemnek az ismerete, mely megmondja nekünk azt, hogy egy adott pillanatban pályája melyik pontjában tartózkodott az üstökös. Erre a célra a pályának nem akármelyik pontját, hanem egy egész határozott pontját fogjuk kiválasztani. Ily pont minden pályában pl. a perihélium pontja. E szerint hatodik és utolsó pályaelemünk az az időpillanat lesz, melyben az üstökös átment a perihéliumán; neve: a perihélium-átmenet ideje.

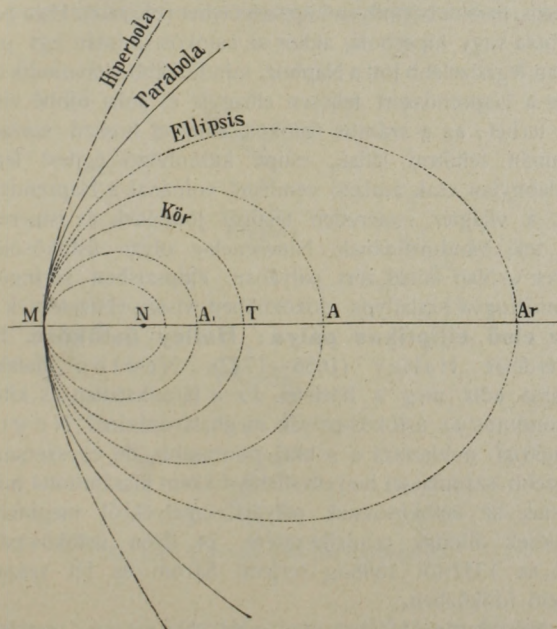
Fontosságuk miatt és a kényelmesebb áttekintés kedvéért a pályaelemekről mondottakat összefoglaljuk a következő táblázatba:

A pályaelem neve	A pályaelem jelentése	Milyen értéket vehet föl?	Mit határoz meg?	Példa: az Encke-üstökös elemei
Hajlás	Szög	0^0-180^0	A pályasík hajlását az ekliptikához	$12^0\ 36'\ 42''$
A felszálló csomó hosszúsága	Szög	0^0-360^0	A felszálló csomó irányát az ekliptikában	$334^0\ 30'\ 18''$
A perihélium távolsága a felsz. csomótól	Szög	0^0-360^0	A pálya helyzetét a pálya síkjában	$184^0\ 35'\ 24''$
Perihélium-távolság	Hosszúság	A zérusnál nagyobb minden értéket	Az üstökös legkisebb távolságát a Naptól	0.33759 (a Föld-Nap táv. kb. harmadrésze)
A perihélium-átmenet ideje	Időpillanat	Bármilyen időadat lehet	Azt az időpontot, mikor az üstökös legközelebb van a Naphoz	1908 április 30.16 (= április 30 d. u. 3 ó. 50 p. 24 mp.)
Excentricitás	Viszonyszám	Zérustól kezdve minden számértéket	A pálya alakját: ha = 0, kör; 0 és 1 között ellipszist; ha = 1, parabolát; ha 1-nél nagyobb, hiperbolát.	0.84758 (ellipszis)

Most már beláthatjuk, hogy ezen hat elem ismeretével az üstökös pályája egyértelműen meg van határozva. De a pályaelemeket nem tudjuk közvetlenül megfigyelni; a mit mindössze megfigyelhetünk, az az üstökös rektaszczenziója, deklinációja és a megfigyelés időpillanata. De Newton törvénye alapján előre tudjuk már, hogy a pálya sík, hogy ez a sík okvetlenül átmegy a Nap középpontján, hogy a pálya alakja minden esetre valamilyen kúpszelet s hogy ennek a kúpszeletnek egyik gyújtópontjában a Nap foglal helyet. Valószínű tehát, hogy a pálya meghatározásához nem lesz több évi időtartamra terjedő megfigyelésre szükségünk, mint Kepler-nek, ki a pálya alakjáról, stb. úgyszólván semmit sem tudott előre. A kérdést most így lehet föltenni: hány megfigyelés szükséges valamely üstököspálya meghatározásához. Erre a kérdésre is Newton adta meg a feleletet főművének, a híres „*Principiá*“-knak mintegy betetőzéseképpen.

Newton kimutatta, hogy az üstököspálya meghatározására három megfigyelés elegendő. Ha az üstököst három különböző napon megfigyeljük, azaz meghatározzuk mindenkör a rektaszczenziót, deklinációt és a megfigyelés időpillanatát, akkor ezekből az adatokból a pályaelemek kiszámíthatók. Newton maga egy tisztán geometriai módszert gondolt ki, mely a számítást helyettesítette. Ő körzővel és vonalzóval oldotta meg a feladatot és rögtön alkalmazta is az 1680-iki üstökösre. Saját magának és kortársának, Flammsteed-nek (1646—1742) megfigyeléseiből kiválasztott hármat; ezekből meghatározta az üstökös pályaelemeit, abból a föltevésből indulva ki, hogy a pálya parabola, mely esetben a megoldás aránylag a legegyszerűbb. A most már ismert pályából visszafelé kiszámította az üstökös geocentrikus koordinátáit mindazokra a napokra, a melyeken észlelés történt. Ha helyes volt az a föltevése, hogy az üstökösök nem vonhatják ki magukat az ő törvényének hatalma alól, akkor

a számítás eredményének egyeznie kellett a megfigyeléssel. A kiszámított koordináták a három hónapnyi időközre terjedő összes megfigyelésekkel teljesen egyeztek. *Ezzel be volt bizo-*



21. rajz. Az égitestek különböző pályái.

nyítva, hogy az üstökösök nem valami kiváltságos, rejtélyes határozatlan tűnemények, hanem, hogy épp oly égitestek, mint az egyéb, a Nap körül keringő bolygók, a mennyiben — éppen úgy, mint ezek — Newton törvényének engedelmeskednek,

hogy éppen úgy van tömegük, mint minden más égitestnek, hogy pályájukat meg lehet határozni és mozgásukat néhány megfigyelésből előre kiszámítani.

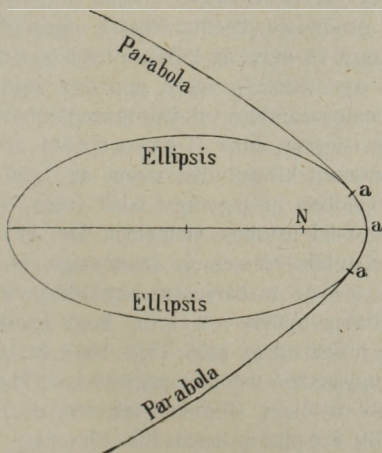
Newton törvényéből — mint említettük — az következik, hogy valamely, a Nap körül keringő égitest pályája nemcsak ellipszis, hanem bármilyen kúpszelet lehet (21. rajz). Ha a pálya parabola vagy hiperbola, akkor az üstökös, miután egy pillanatban legközelebb jött a Naphoz, mindinkább eltávolodik tőle, végre a Naprendszer teljesen elhagyja és soha többé vissza nem térhet; az a számos üstökös, amelyet hosszú századok folyamán feltűnni láttak, csupa különböző égitest lenne, mindannyian csak átutazó vendégei volnának a Naprendszernek; a világtér ismeretlen tájairól jönnének és ismeretlen tájai felé vándorolnának. Nincsenek-e olyan üstökösök is, melyek a Nap körül zárt pályában, ellipszisben keringenek és ennél fogva szabályos időközökben vissza-visszatérnek?

Az első elliptikus pálya: Halley üstököse. Erre a kérdésre Halley (1656—1742), Newton fiatalabb kortársa adta meg a feleletet. Ez a fáradhatatlan és kitűnő asztronómus az üstökös-pályák meghatározásánál Newton geometriai módszerét a sokkal pontosabb, de egyszersmind nehezebb számítással helyettesítette. Ekként kiszámította mindazoknak az üstökösöknek pályáját, melyekről megbízható észlelések állottak rendelkezésére. 24 ilyen üstökös-pályát talált az 1337-től 1698-ig terjedő három és fél századot felölelő időközben.

Természetesen ő, épp úgy, mint Newton, parabola-pályákat vagy elemeket számított, egyrészt, mert ezeknek számítása aránylag a legegyszerűbb, másrészt, mert arra a rövid időre, mely alatt az üstökösök láthatókká válnak, a parabola teljesen megfelel az észleléseknek. Emlékezzünk most vissza arra, hogy mit is jelent a pálya meghatározása?

Láttuk, hogy valamely üstökös pályája meg van határozva,

ha ismerjük a pálya elemeit. Ha most, különböző üstökösök pályaelemeit számítva, azt találjuk, hogy közülük néhány ugyanabban a síkban, ugyanabban a paraboladarabban mozog s hogy a perihéliumhoz való visszatérés mindig ugyanannyi év múlva ismétlődik, mit kellene ebből következtetnünk? Azt, hogy az üstökös útja bizonyára nem parabola, hanem



22. rajz. Ellipszis- és parabola-pálya.

ellipszis s hogy a parabola *csak a láthatóság kicsiny időközében* esik össze az ellipszissel. Csakugyan, ha felrajzolunk egy parabolát és egy ellipszist, melynek excentricitása csak igen keveset különbözik az egységtől (22. rajz), azt fogjuk látni, hogy a perihélium körül a két kúpszelet majdnem egybeesik. Ugyanígy összeesik a perihélium körül a parabola a hiperbolával is. Halley is így okoskodott, mikor

számításaiból azt találta, hogy három üstökös parabolikus pályaelemei megegyeznek. Ezek az üstökösök a következők voltak: az 1531-iki, melyet *A p i a n u s* figyelt meg, az 1607-iki, *Kepler* észleléseiből és az 1682-iki *Flamsteed* nek, valamint *Halley*-nek saját megfigyeléseiből levezetett elemekkel. Ez a megegyezés vezette *Halley*-t arra a gondolatra, hogy a három üstökös tulajdonképpen egy és ugyanaz, a pálya tehát ez esetben hosszasan elnyúlt ellipszis, a keringés-idő pedig 75 és 76 év között fekszik. Megerősítette ezt a föltevést az, hogy 75 évvel az 1531-iki üstökös előtt, 1456-ban is megjelent egy üstökös, mely épp úgy, mint 1682-ben, fényével és hatalmas csóvájával Európaszerte feltűnést keltett. Ha *Halley* ismerte volna *Toscanelli* megfigyeléseit (6. lap), bizonyosan kiszámította volna az 1456-iki üstökös elemeit is és valóban megegyezést talált volna, éppúgy, mint az 1531 és 1607-iki üstökös elemeinél. De *Halley* előtt az említett 3 üstökös elemeinek azonossága és az 1456-tól minden 75-ik évben szabályosan ismétlődő visszatérés teljesen elegendő bizonyíték volt arra, hogy levonhassa azt a következtetést, miszerint az 1456, 1531, 1607 és 1682-iki üstökösök egy és ugyanazon üstökös megjelenései. *Halley* most kiszámította az üstökös elliptikus elemeit, t. i. az ismert keringés-időből *Kepler* harmadik törvénye segítségével az ellipszis fél nagytengelyét és ebből a szintén ismert perihélium-távolsággal az exczentricitást, melyet az egységtől nagyon kevéssé különbözőnek talált. Az exczentricitást kivéve, a többi elem ugyanaz, mint a parabolánál. *Halley* most joggal kimondhatta, hogy *az üstökös újabb 75 vagy 76 év múlva, 1758 végén vagy 1759 elején ismét meg fog jelenni.*

Halley-nek ez a felfedezése óriási lépést jelentett az emberi megismerés haladásában: egy évezredes titok áthatlannak látszó homályába hatalmas fénysugár hatolt, éles világosságot vetve egy igazságra, melyről azelőtt bizonytalan

sejtelemnél egyebet nem tudtak. Újabb diadala volt ez Newton nagyszerű törvényének is, mely azonban akkor is csorbíthatlan maradna, ha bebizonyosodott volna, hogy valamennyi üstökös útja parabolikus.

Önkénytelenül is az a kérdés fog most felmerülni, hogy Halley, ha már tudta, hogy üstököse szabályosan visszavisszatér, „periodikus“, miért nem tudta megmondani a visszatérés pontos idejét, helyesebben szólva: miért nem tudta az 1758 vagy 59-iki perihélium-átmenet napját, óráját, percét pontosan kiszámítani? Az 1531-iki és az 1607-iki perihéliumátmenetet 76 év és 2 hónap választotta el egymástól; az 1607-iki perihélium-átmenettől az 1682-iki átmenetig ellenben csak 74 év 11 hónap telt el. A különbség 1 év és 3 hónap! Lehet-e ez, egy és ugyanazon üstökös, melynek keringésidei ennyire különböznek egymástól? És még ezenfelül azok az elemek, a melyekből Halley a három üstökös azonosságára következtetett, megegyeztek ugyan, de csak a fokokban, a percekben már eltérés mutatkozott. Tehát vagy három különböző üstökössel van dolgunk, melyek igen közel azonos pályákban haladnak, vagy pedig meg kell engednünk azt, hogy *az elemek nem maradnak örökké ugyanazok, hanem idővel változásokat szenvedhetnek.* Halley ezt az utóbbi körülményt igen jól tudta, mert hiszen Newton törvényének ez a legfontosabb és legérdekesebb következménye. Csakhogy Halley még nem rendelkezett azzal a tökéletes eszközzel, mely egyedül tette volna lehetővé annak a szigorú bebizonyítását, hogy az üstököse elemeinek valóban akkora változásokat *kellett* szenvedniök, a minőket a pályaszámítás mutatott. Az említett eszköz az ú. n. differenciál- és integrálszámítás, melyet 1675 táján Newton és Leibniz egyidőben fedeztek fel és mely azóta a matematika hatalmas ágává fejlődött. Az egész asztronómia további haladása a legszorosabb összefüggésben van e matematikai módszer

fejlődésével; az üstökösöknél is mindaz, a mit róluk ma bizonyosat tudunk és mindama szép eredmények, váratlan összefüggések, melyeket a kutató emberi szellem e téren földerített, e két tudomány együttes munkájának köszönhetők.

Halley kortársai bizony vállvonogató kétkedéssel fogadták ama kijelentését, hogy üstököse 75 év múlva vissza fog térni. De Halleynek mégis igaza volt. A mint később látni fogjuk, „Halley üstökösének“ újból való megjelenése és a megjelenés körülményei ezt az égitestet a legérdekesebbek egyikévé avatják.

A pályaelemek változásai: perturbációk. Hogy az üstökösök útjait, változatos sorsukat igazán megértsük, mulhatatlanul szükséges megismerkednünk Newton törvényének említett legfontosabb és legérdekesebb következményével. Már maga a pályameghatározás feladata, Newton fogalmazásában, egyike az asztronómia legnehezebb kérdéseinek. Számos kiváló tudós fáradozott újabb, egyszerűbb és tökéletesebb módszerek föltalálásán. Különösen Lambert (1728—1777), Laplace (1749—1827), Olbers (1758—1840), ki egyébként mint gyakorlóorvos működött, Gauss (1777—1855), Encke (1791—1865), Oppolzer (1841—1885) s még sokan mások szereztek kiváló érdemeket az üstököspályák meghatározásának tökéletesítése körül. De mindeme kitűnő alkotások mellett is még igen tág tér marad a további kutatások számára.

Ha a világegyetemben nem volna más égitest, mint a Nap és csak egyetlenegy bolygó, pl. a Föld, mely körülötte ellipszisben kering, úgy ez a „Kepler-féle ellipszis“ örökre változatlanul egy és ugyanaz maradna; elemei évezredek múltán sem mutatnának semmiféle változást. De tegyük most fel, hogy a Földön kívül még egy másik égitest is kering a Nap körül. Newton törvénye általános érvényességű, semmiféle égitest nem vonhatja ki magát hatalma alól: ennél-

fogva nemcsak a Nap és Föld, vagy a Nap és ama harmadik égitest között működik a *Newton*-féle erő, hanem a Föld és a másik a Nap körül keringő égitest között is. A két égitest nemcsak a Nap felé, hanem egymás felé is fog *gravitálni*. Tudjuk már, hogy ez a gravitálás, a *Newton*-féle erőnek hatása, bizonyos nagyságú és irányú gyorsulás alakjában nyilvánul. Mindkét égitest külön-külön ellipszist írna le a Nap körül, de ha egyszerre keringenek a Nap körül, akkor annak a gyorsulásnak és irányának, a melylyel egyébként külön-külön bírnának, folytonosan változnia kell, mert hiszen a két égitest között is folyton működik a *Newton*-féle erő. Az eredeti ellipszis egy határozott pontjában az egyik égitestnek csak egyféle egészen határozott gyorsulása és mozgásának csak egyetlen egészen határozott iránya volna. Tegyük most fel, hogy a másik égitest csak egészen rövid időre hat az előbbire a *Newton*-féle erővel. Akkor úgy az előbbi gyorsulás, tehát a pálya maga is szükségképpen meg fog változni és pedig annál erősebben, minél nagyobb e másik égitest tömege és minél kisebb a köztük levő távolság. Az első égitest tehát nem fogja útját úgy folytathatni, mint tette volna, ha ez a másik égitest nem működött volna közre. Útja, pályája tehát megváltozik, *háborgatást*, *«perturbációt»* szenved, a mint az asztronómia nyelvén mondani szokás. Az előbb föltettük, hogy a második égitest csak nagyon rövid ideig működött. Csakhogy a valóságban ez a működés folyton-folyvást tart — hiszen tömege mindig van minden testnek — tehát az eredeti elliptikus mozgás is folytonos perturbációknak van alávetve. Természetes, hogy épp úgy, mint a második égitest háborgatja az elsőnek mozgását, úgy viszont az első is zavarja a másodikét.

Válasszuk a föld tömegét egység gyanánt, akkor a Nap tömege 333 400, a Jupiter tömege pedig, mely valamennyi bolygó között a legnagyobb, csak 318, tehát körülbelül 1000-szer

kisebb, mint a Napé. Mikor a Jupiter legközelebb van a Földhöz, még akkor is 4-szer távolabb van tőlünk, mint a Nap. Ennélfogva a Newton-féle erő, melylyel ekkor a Jupiter a Földre hat, még $4 \times 4 = 16$ -szor kisebb lesz, vagyis 16 000-szor kisebb, mint a Napé. Innét van az, hogy a bolygók *nagyjából* ellipsziseket írnak le a Nap körül, mert még a legnagyobb tömegű bolygótól, a Jupitertől okozott „perturbációk” is igen csekélyek. Hogy Kepler a bolygók pályáit ellipszis-alakúaknak találta, az onnét van, hogy műszereivel ezeket az ellipszistől való kicsiny eltéréseket még nem tudta megmérni. Kepler törvényei tehát csak megközelítik a valóságot, ellenben Newton egyszerű törvénye lehetővé teszi, hogy az égitestek valóságos mozgását a lehető legnagyobb pontossággal megismerjük.

A milyen egyszerű volt megállapítanunk a Newton-féle törvénynek azt a következményét, hogy a Nap körül keringő két égitest egymás pályáit háborgatja, oly nehéz maguknak a perturbációknak kiszámítása. Ez a kiszámítás a híres „három test problémájának” tárgya, mely Newton óta a legnevesebb matematikusokat foglalkoztatta s mely egyszersmind súlypontja az egész asztronómiának. Lagrange, Laplace, Poincaré, Hill korszakalkotó munkái és számos más kiváló tudós szép vizsgálatai nagy mértékben tökéletesítették ismereteinket a Naprendszerben végbemenő mozgásokról, de még nem minden kérdés talált megoldást s a további kutatások számára még határtalan tér nyílik.

Gondoljuk meg, hogy a Nap körül nemcsak két bolygó kering, hanem az eddigi ismereteink szerint nyolcz nagyobb bolygó számos holddal, körülbelül 600 apró bolygó s azonkívül vagy 100 időszakos üstökös. Elképzelhető, hogy e számos égitest mozgásai még szövevényesebbek lesznek, mintha csak két bolygó keringene a Nap körül.

De mi köze mindennek az üstökösökhöz? A felelet egy-

szerű: az üstökösök Newton törvényének engedelmeskednek, tehát nekik is épp úgy perturbációkat kell szenvedniök s épp úgy okozhatnak is háborgatásokat, mint minden, a Nap körül keringő tömeg. A perturbációk megváltoztatják a pályát; de ha a pálya változik, akkor a pálya elemei változnak, mert a pályát ezek határozzák meg. Ha az üstökös mozgását követni akarjuk, nem elég a pályaelemeket ismerünk, hanem esetről-esetre azokat a változásokat is meg kell határoznunk, a melyeket a többi, a Nap körül keringő bolygó idézhet elő.

Az apró bolygók tömege oly csekély, hogy teljesen számíttáson kívül hagyható. A nyolcz nagy bolygó tömege azonban — különösen Jupiteré — elég tetemes. De e bolygók exczentricitása igen csekély, közel van a zérushoz, tehát a bolygópályák nem térnek el nagyon a körtől. A kölcsönös perturbációk sem nagyok, mert ezek a távolságtól is függvén, csak akkor érhetnének el tetemes értéket, ha a bolygók nagyon közel jöhetnének egymáshoz, a mi a csekély exczentricitásnál fogva nem történik meg. Nem úgy az üstökösök. Ezeknek exczentricitása igen nagy, közelebb van az egységhez, mint a zérushoz. Ha ellipszisben mozognak, akkor ez az ellipszis rendkívül elnyúlt. *)

Az üstökösök ennél fogva annyira megközelíthetik a bolygókat, hogy ezek az üstökösök pályáit erősen megzavarhatják, pályaelemeiket teljesen megváltoztathatják. Bizonyos pályán haladó üstökös ily bolygó okozta perturbáció után némelykor az előbbtől teljesen különböző új pályán halad tova. Az üstökösök tehát nem élnek oly nyugodt életet, mint a biztosabb utakon haladó bolygók. Rendkívül érdekes feladat

*) A Halle-üstökös pályája pl. perihéliumkor a Föld és a Nap közé esik, aféliumkor pedig túlmegy a legtávolabbi bolygón, Neptunuson is.

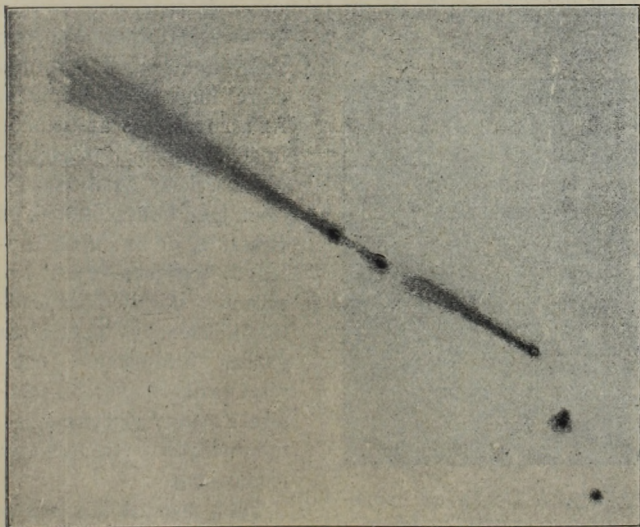
az üstökösök pályáinak eme változásait számítással meghatározni.

Az üstökösök tömege. Ha valamely üstökös egy bolygó közelébe kerülve perturbációt szenved, akkor ebből kiszámíthatjuk a perturbáló bolygó tömegét, mert a Newton-féle törvény alapján a háborgatás egyenesen arányos a háborgató bolygó tömegével. Az üstökösök ekként becses adatokat szolgáltathatnak a bolygók tömegeire vonatkozólag. Pl. Newcomb, a híres amerikai asztronómus, a Jupiter tömegét azokból a perturbációkból határozta meg, melyeket ez a Faye- és Winnecke-féle üstökösök mozgásában okozott.

Ha az üstökösöknek számbavehető tömegük van, akkor viszont ők is idéznek elő változásokat ama bolygó mozgásában, a melyhez eléggé közel jutnak. Pl. az 1889. V. üstökös, vagy Brooks üstököse (23. rajz) 556 napon át volt megfigyelhető s a számos megfigyelésből pontosan meg lehetett állapítani pályájának elemeit. Ezekből az elemekből az következett, hogy Brooks üstököse 1886 júl. 20-án egyenesen a Jupiter 3. és 4. holdja között ment át, 20·4 Jupiter-sugár távolságban a Jupiter középpontjától, míg a 3. Jupiter-hold távolsága 15, a 4. Jupiter-holdé pedig 26·5 Jupiter-sugár. *Jupiter holdjai a legcsekélyebb háborgatásnak még nyomát sem mutatták és ennél fogva bizonyos, hogy az üstökös tömege rendkívül kicsiny.* Az üstökös maga azonban óriási perturbációkat szenvedett. Chandler kiszámította a pályákat a Jupiter rendszerén való áthaladás előtti és utáni időre. Számításai szerint az üstökös előbb oly elliptikus pályán haladt a Nap körül, melynek exczentricitása 0·39 volt, keringésének ideje pedig 27 év. A Jupiter-rendszeren való áthaladás után az exczentricitás 0·47-ra szökött fel, a keringés-idő pedig az előbbinek körülbelül negyedére, 7 évre szállott le!

A perihélium-távolság 5·4-ről 1·9-re csökkent s hasonló

nagy változásokat mutattak az üstökös többi elemei is! Az üstökös érdekességét csak növelte, hogy öt, hasonló pályán haladó darabból állott, melyek közül kettő csóvával ékeskedett, három pedig ködszerű korongnak látszott. B a u s c h i n g e r számításai szerint, melyek C h a n d l e r-étől csak igen keveset



23. rajz. Brooks üstököse (1899. V) kísérőivel (negatív kép).

különböznek, az üstökösnek az új elemek szerint 7 év múlva, 1896 nov. 4-én kellett újra átmennie a perihéliumon; azonkívül B a u s c h i n g e r *efemeridát* is számított ki, azaz meghatározta, hogy az üstökösnek az év bizonyos napjain az ég melyik pontján kell tartózkodnia, más szóval mik a geocentrikus

egyenlítői koordinátái. J a v e l l e már másfél évvel az újabb perihélium átmenet előtt, 1895 június 20-án fedezte fel újra B r o o k s üstökösét, pontosan azon a helyen, melyet a számítás évekkel előbb kijelölt. De az üstökös ezúttal kísérők nélkül tért vissza: társai eltűntek.

C h a n d l e r számításai azt is mutatják, hogy 1921-ben az üstökös ismét igen közel jut Jupiterhez és természetesen újra

tetemes perturbációkat fog szenvedni, melyeket szintén előre meg lehet állapítani. Az asztronómus az üstökös útját ilyenformán íróasztalánál kísérheti. Az ily számítások igen bonyolódottak és fárasztók, de rendkívül fontosak; egyrészt mert bepillantást engednek az üstökösök életének változásokban gazdag fordulataiba, másrészt pedig fényes bizonyítékai a mennyiségi természet-tudományos gondolkodás hatalmának.



24. rajz. A Donati-féle háromcsóvájú üstökös 1858-ban.

Több más üstökös is igen közel jött útjában egyik vagy másik bolygóhoz; a

Földhöz pl. az 1861. I. üstökös 300 000 km.-nyire közeledett, tehát közelebb volt hozzánk a Holdnál is, melynek közepes távolsága a Földtől 384 000 km. A Föld pályája mégsem szenvedett semmiféle változást, a mi ismét csak azt mutatja, hogy az üstökösök tömege igen kicsiny. R o c h e a D o n a t i-féle üstökös (24. rajz) tömegét a Föld tömegének 43 milliomodrészére becsülte, a mi egyébként még

mindig tekintélyes tömeg.*) Az üstökös magjának átmérője 1000 km., feje még sokkal nagyobb, csóvája pedig 86 000 000 km. hosszú volt. De osszuk szét az említett tömeget csak az üstökös gömbalakúnak vett magjában, közepes sűrűsége még akkor is kisebb a legjobb légszivattyúkkal elérhető légthézag térségénél. Hogy az üstökösöket alkotó anyag rendkívül ritka állapotban van, bizonyítja az is, hogy nemcsak a csóván, hanem a fejen keresztül is kisebb csillagokat gyöngítetlen fényerősséggel és minden fénytöréssel nélkül meg lehet látni.

Csakugyan azt lehetne mondani B a b i n e t-tel, hogy az üstökös „un rien visible“, látható semmi, ha nem szólana ez ellen mindaz, a mit eddig az üstökösök pályájáról és mozgásáról mondtunk.

*) A Föld tömege 6100 trillió tonna (a 6100 után még 18 zérus következik).

III.

Nevezetesebb üstökösök.

A Halley-üstökös. Már láttuk, hogy miképpen jutott Halley arra az eredményre, hogy az 1682-iki üstökös időnkint visszatér, hogy keringés-ideje 75—76 év. Azt is említettük, hogy Halley kortársai erős kétkedéssel fogadták ezt a nevezetes fölfedezést: a világ, mely 2000 évig szívesen hitt Arisztotelesz-nek, csak nehezen és semmi esetre sem egy csapásra hódolt meg a pozitív kutatás eredményei előtt. A Halley-üstököst 1682-ben Flamsteed figyelte meg először aug. 25-én; két nappal előbb az orleansi jezsuiták már látták. Halley, ki akkor éppen Párizsba utazott, útközben pillantotta meg a nevezetes égitestet, melyet később az ő nevééről neveztek el. Párizsban Halley Cassini J. D.-vel, az ottani híres csillagvizsgáló-első igazgatójával együtt figyelte meg az üstököst, mely szept. 10-ig volt látható.

Az üstökös következő perihélium-átmenetét Halley 1758 végére vagy 1759 elejére helyezte kilátásba. Pontos időpontot nem tudott megadni. Ő igen jól tudta, hogy az üstökös, ha útjában bolygók — különösen Jupiter — közelébe ér, perturbációkat szenvedhet, melyek a pálya elemeit és ennél fogva keringésének idejét is megváltoztathatják. Ezen változásokat abban az időben még nem tudták valami nagy pontossággal kiszámítani. Newton maga geometriai módszerrel meghatározta ugyan a Hold néhány nagyobb perturbációját, Halley

pedig számítással igyekezett követni azokat a változásokat, a melyeket valamely égitest elemei szenvedhetnek, midőn az égitest egy másiknak közelébe ér, de ezek a számítások még tökéletlenek voltak. Pontosabb számításokat csak a matematika további hatalmas fejlődése tett lehetővé, mely Newton és Leibniz említett nagy fontosságú felfedezése nyomán indult meg.

1742-ben Halley meghalt és már nem érhetette meg azt az örömet, hogy következtetését beteljesedve lássa. Minél jobban közeledett az 1758. év, annál izgatottabb kíváncsisággal várták az érdeklődők az üstökös visszatérését. Az akkor 25 éves Lalande, kitűnő francia asztronómus, mélyebben érdeklődött Halley üstökösének sorsa iránt s érezvén, hogy saját erejét felülmulják azok a nehézségek, a melyeket le kellene győzni, ha az üstökös útját követni akarná azon a hosszú 75 esztendőn át, mely alatt emberi szem nem láthatta, egy tudós társához fordult segítségért. 1757-ben fölkererte Clairaut-t (1713—1765), a híres matematikust — ki már régebben foglalkozott a három test problémájával s azt szép felfedezésekkel gazdagította —, alkalmazná elméletét azokra a perturbációkra, a melyeket Jupiter a Halley-üstökös pályájában okozhatott. „Clairaut csakhamar fölismerte — írja Lalande —, hogy ez nem lesz elegendő. Nekem 150 évre ki kellett számítanom Jupiter és Saturnusnak az üstököstől való távolságait, az erőket, melyekkel reája hatottak és a perturbációkat, melyeket okoztak. Lepaute-né segítségével több mint egy esztendeig oly szorgalmasan dolgoztam, hogy belebetegedtem.“ Clairaut átvizsgálta ezeket a számításokat, képletei segítségével levonta a végső eredményt és 1758 nov. 14-én átnyújtotta a párizsi akadémiának értekezését, melyben kimondja, hogy Halley üstököse 1759 márczius 13 és május 13-ika között fog átmenni perihéliumán.

Az 1607-iki és az 1682-iki perihélium-átmenet között 74 év, 10 hó, 18 nap telt el. Ha az üstökös nem szenvedett volna további háborgatásokat pályájában, akkor ezt az időt egyszerűen hozzá kellett volna adni a legutóbbi perihélium-átmenethez.

E szerint az üstökös 1757 július 22-én ment volna át újra a perihéliumon. Clairaut azt találta, hogy a perturbációk 620 nappal meghosszabbították a keringés-időt s hogy számításainak hibája legföljebb 30 nap, azaz hogy legföljebb 30 nappal előbb, vagy legkésőbb 30 nappal utóbb következhetik be az üstökös perihélium-átmenete.

Eddig Clairaut számításai — épp úgy, mint Halley következtetése — nem voltak egyebek, mint Newton törvényének pontosabb alkalmazásán alapuló elmélet. Hogy ez az elmélet helyes-e, azt csak a tapasztalás dönthette el.

1758 december 25-én Palitzsch távcsővel fölfedezte az üstököst. Palitzsch a maga nemében nevezetes ember volt. Földműves létére mélyen érdeklődött a matematika s a csillagászat iránt és tisztán saját erejére utalva kitűnő ismeretekre tett szert e tudományokban. Halley következtetésének helyességéről meg volt győződve s az üstököst rendszeresen kereste az ég azon tájékán, melyen újból való megjelenése várható volt s meg is találta, megelőzve még Messier-t is, a híres „üstökös vadászt“.

Az üstökös 1759 márczius 12-én ment át a perihéliumon, pontosan azon a határon, a melyet Clairaut mint valószínűt kijelölt. Halley-nek tehát igaza volt, Newton törvénye fényesen beigazolódott s ismereteink egy nevezetes tétellel gazdagodtak: van oly üstökös is, mely a bolygókhoz hasonlóan elliptikus pályán kering a Nap körül, állandó tagja a Naprendszernek s nem „jött-ment égi kalandor“.

Lalande, kinek nagy része volt a fölfedezés előkészítésében, lelkes szavakban ecseteli azt a hatást, melyet Halley

üstökösének visszatérése ő reá s mindazokra gyakorolt, kik az esemény fontosságát meg tudták érteni és ma is minden, a természet szövevényes törvényein elgondolkozó ember szívesen el fogja ismerni, hogy Halley fölfedezésének beigazolása a szabatos természettudományos módszerek fényes diadalát jelentette.

Halley üstököse 1759 június 22-ig volt megfigyelhető; útjában oly messze távozott a Földtől és a Naptól, hogy folyton gyöngülő fényessége a látást lehetetlenné tette. Egyébiránt 1759-iki külső megjelenése is elég fényes volt.

Most már bizonyos volt, hogy az üstökös 1835-ben vissza fog térni. Az 1759-iki megfigyelésekből a pályát pontosabban lehetett megállapítani és ennél fogva a perturbációkat is biztosabban számítani. Már 1817-ben a turini akadémia díjat tűzött ki a Halley-üstökös visszatéréseinek pontos meghatározására. A díjat báró D a m o i s e a u francia asztronómus nyerte el, ki a perihélium-átmenet napjául 1835 november 4-ikét számította ki. Később a francia akadémia az ő ú. n. „nagy matematikai díját“ ugyanerre a kérdésre tűzte ki. A nyertes D e P o n t é c o u l a n t lett, ki értekezésében 1835 november 15-ikét jelölte ki mint a perihélium-átmenet idejét. D e P o n t é c o u l a n t kitűnő matematikus-asztronómus volt, ki nagy érdemeket szerzett különösen a Holdmozgás elméletének tökéletesítése körül. Mások is számították az érdekes üstökös pályáját és perturbációit: R o s e n b e r g e r, a híres B e s s e l asszisztense, ki 1835 november 11-ikét és L e h m a n n, ki november 26-ikát jelölte ki perihélium-átmenet időpontjául.

1835 elején az üstökös még oly távol volt a Földtől, hogy távcsővel sem lehetett fölfedezni. Utóbb a Nap az üstökös és a Föld közé kerülván, a Nap fénye takarta el a megfigyelők szemei elől. Végre aug. 5-én D u m o u c h e l jezsuita, a „Collegium Romanum“ csillagvizsgálójának igaz-

gatója látta meg először távcsővel az újból visszatért Halley-üstököst. Az ekkori megfigyelésekből csakhamar levezetett pályaelemek mutatták, hogy az üstökös 1835 november 16-án volt legközelebb a Naphoz, úgy hogy De Pontécoulant néhány órányi különbséggel közelítette meg a valóságot. Hogy ez az eredmény nagy örömmel töltötte el, az érthető, hiszen Clairaut csak egy hónapnyi pontossággal tudta meghatározni az üstökös előbbi Nap-közelségét. De időközben a perturbációszámítás több kiváló tudós fáradságot nem ismerő munkálatai folytán a tökéletesség magasabb fokát érte el és azonkívül az ember előtt ismeretes Naprendszer is meggazdagodott egy taggal, melyet Clairaut még nem ismert és melynek tömege elég tekintélyes ahhoz, hogy az üstökös pályájára észrevehető hatást gyakoroljon.

A Naprendszernek ez az új tagja az Uranus bolygó volt, melyet 1781 márczius 13-án fedezett föl Herschel W., a nagy angol asztronómus. Az Uranus tömege 15-ször akkora, mint a Földé, tehát tetemes perturbációk oka lehet.

Később a Naprendszer még egy új bolygóval szaporodott, Neptunnal, melyet Adams és Leverrier „íróasztalukon fedeztek föl” éppen az Uranus perturbációiból. Az ekként kiszámított bolygót Galle találta meg, igen közel az előre kijelölt helyhez 1846 szeptember 23-án. A Neptun tömege 17-szer akkora, mint a Földé. Üstökös-perturbációk számításainál most már ezt a bolygót is tekintetbe kell venni.

Hogy Clairaut és Pontécoulant számításai nem egyeztek *tökéletesen* a megfigyeléssel, hogy némi eltérés minden elméleti erőfeszítések mellett is fennmaradt, azon — tekintettel az alapul szolgáló megfigyelések pontosságának korlátozott voltára — nincs mit megütköznünk. Sokkal fontosabb az, hogy az eltérések kicsinyek.

A Halley-üstököst 1835-ben számos csillagász figyelte meg; a helyek, melyeket az égen elfoglalt, mindig pontosan

megegyeztek azokkal, a melyeket Pontécoulant előre kiszámított. Nem kell azt gondolni, hogy az üstökös, mikor a távcsőben láthatóvá lett, valami nagyon fényes külsővel pompázott. Nem volt egyéb igénytelen, gyöngefényű, ködszerű korongnál. Azonban szeptember végefelé észrevették, hogy e ködfolt közepe erőbben világít, mint a széle.

Bessel (1784—1846), a híres königsbergi asztronómus — ki kereskedő-segédből küzdötte föl magát a megfigyelő-



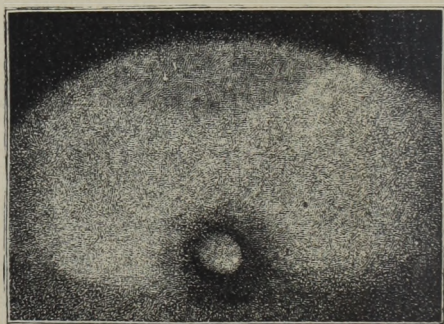
25. rajz. A Halley-féle üstökös 1835 október 8-án. Bessel szerint.

művészet nagymesterévé — behatóan észlelte az üstököst. Október 1-én az üstökös erőbben világító közepe semmi feltűnőt sem mutatott.

Október 8-án meglepő változás történt. „Mintha a „mag“-ból valami fénylő anyag áramlott volna ki — írja Bessel — körnegyedalakban a Nap felé fordulva; e fényburkot 12"—15"-nyi távolságig a középponttól meg lehetett különböztetni a ködszerű alaptól, melyen elterült“ (25. rajz). Idő-

közben az idő borúsra fordult s az üstököst nem lehetett megfigyelni.

„Október 8-án ismét kiderült. A kiáramlás erősebb volt, mint 2-án, de a szög, melyet szélei alkottak, kisebb — vagy 45° -nyi — lett; $15''$ — $20''$ -nyi távolságig a középponttól tudtam követni.“ Lassanként a kiáramlás meggömbült henger alakját vette föl. „Október 12-én az üstökös magja és a kiáramlás égő fáklyára emlékeztetett, melynek tűzcsóvját a szél



26. rajz. A Halley-féle üstökös 1835. október 13-án. Bessel szerint.

oldalt hajtja.“ Október 13-án a kép teljesen megváltozott. „A kiáramlás helyett határolatlan fénylő tömeg látszott, mely a középponttól balra terül el.“ (26. rajz.) Október 14-én azonban a kiáramlás megint láthatóvá lett s ilyen maradt október 22-ig, mikor a mag felett félholdszerű alakot mutatott. 25-én a kiáramlás ismét eltűnt és helyét hasonló „fénylő tömeg“ foglalta el, mint 13-án, csak hogy kevésbé erős és valamivel kisebb. A kiáramlás csak mintegy $20''$ -ig a magtól tartott a

Nap felé, azután kétoldalt hátrafelé görbült és átment az üstökös csóvájába. Ezek a nevezetes megfigyelések keltették Bessel-ben azt a gondolatot, hogy itt taszító erők is közreműködnek.

A kiáramlás tartama alatt az üstökös különös erővel fénylett. A fényerősség növekedését már október 2-án észrevette Bessel; 12-én az üstökös fényesebb volt, mint a Nagy-Medve csillagzat másodrendű nagyságú csillagai; 13-án harmadnagyságú csillag fényességét mutatta, 25-én pedig „oly fényes volt az üstökös magja, hogy — midőn az esthajnalban a magot körülvevő köd még láthatatlan volt — a héliométer legcsekélyebb nagyításánál is állócsillagnak lehetett volna tartani“. Mindezek a jelenségek a perihéliumátmenet előtt játszódtak le.

Hasonló kiáramlásokat már Heinsius vett észre az 1744-ben megjelent üstökösön. Még feltűnőbbek voltak az 1888 I. üstökösön észlelt fénykiáramlások. Két hónappal a perihélium-átmenet után, május 21-én az üstökös magjának fényessége hirtelen két nagyságrenddel erősödött, fejéből pedig két nyúlvány látszott kiáramlani, melyek köralakban kétoldalt hátrafelé görbülték és sokkal fényesebbek voltak a tulajdonképpeni csóvánál.

Az 1884 I. üstökös magja eleinte úgy festett, mint egy 12-ed rendű csillag (az 1-ső rendű v. nagyságú csillagok a legfényesebbek); 1883 szept. 23-án a fényesség 8-ad nagyságúra növekedett; szept. 25-én a mag teljesen eltűnt és az üstökös fényes ködként tűnt fel, melynek fényessége állandóan fogyott. 1884 jan. 1-én fénylő pontnak látszott, melynek fényessége aztán ismét növekedett, úgy hogy e növekedést egy óráig tartó megfigyelés közben is észre lehetett venni.

A Halley-üstökös fejében végbement változások tehát nem állanak egyedül. 1835-iki megjelenésekor üstökösünk nem volt valami fényes jelenség; távolról sem volt oly

„látványosság“, mint 1682-ben, mikor még Halley és Newton gyönyörködtek benne. 1836 május 19-én figyelték meg utoljára.

1456-tól kezdve a Halley-üstökösnek 6 megjelenése volt most ismeretes és ezek közül kettő előre ki volt számítva. Érdekes lett volna tudni azt is, hogy nincsenek-e még régebbi tudósítások, feljegyzések az üstökösről. Mivel a perturbációk folytán keringés-ideje egy, két, sőt több évvel is változhatott, a megjelenés éveinek pontos meghatározása céljából visszafelé kellett kiszámítani a pályákat. Két francia asztronómus: Biot és Laugier, és az angol Hind vállalkoztak erre a fáradságos munkára. Eredményeiket 1846, illetve 1850-ben tették közzé. A Halley-üstököst egészen 12-ig Kr. e. kísérték visszafelé útjában és számos megjelenéséből különféle régi történeti feljegyzést kutattak fel. Különösen becsesek voltak a khinai megfigyelések. Meg kell itt említenünk, hogy a khinaiak már a legrégibb időkben rendszeres csillagászati megfigyeléseket végeztek s azokat gondosan feljegyezték. Egyik évkönyvükben egy üstökösről van szó, mely 2296-ban Kr. e. jelent meg. Pingré és Williams gyűjtötték össze az üstökösökre vonatkozó régi adatokat.

1835 után a Halley-üstökösnek 1910 eleje táján kellett ismét a perihéliumba visszatérnie. Az új pályát már Pontécoulant számította s a perihélium-átmenet időpontjául 1910 május 16-iki éjfél-t tűzte ki. Azonban Pontécoulant számításaiiban még nem volt tekintettel a Neptun tömegétől okozott háborgatásokra. Legújabbán két greenwichi asztronómus, Crommelin és Cowell pontosabb számítást eszközöltek s azt találták, hogy Halley üstököse 1910 április 8-án lesz legközelebb a Naphoz. Az előre kiszámított efemerida alapján a heidelbergi asztrofizikai obszervatóriumon gondosan lefotografálták az ég azon tájékát, a melyet az

efemerida a különböző napokra jelzett. (Említettük már, hogy az efemeridában valamely égitest látszólagos geocentrikus koordinátái előre vannak kijelölve, pl. 10 napról 10 napra, vagy napról-napra.)

1909 szept. 11-én éjjel Wolf, az említett obszervatórium igazgatója egy fényképfelvételt eszközölt, mely a számítás kijelölte hely közvetlen közelében a Halley-féle üstökös első nyomát mutatta. Az üstökös tehát ismét visszatért, újból igazolva Newton törvényét és újból magára terelve a csillagászok figyelmét, kik a mai kor minden rendelkezésükre álló eszközeivel készültek a ritka jövevény megfigyelésére.

Mostani felfedeztetésekor 533 millió km.-nyire volt a Földtől, több mint háromszor oly távol, mint a Nap és a fénynnek, mely 300 000 km.-nyi utat fut be mp.-ként, majdnem fél órára van szüksége, hogy ezt az utat befussa. Az alig észrevehető piczinyke ködfoltocskát, mely az Orion csillagzatának ragyogó csillagai között teljesen elveszett, mégis megrögzítette az érzékeny fotográflemez. 17-ed nagyságú csillagnak látszott csupán. A Yerkes-obszervatórium hatalmas távcsövén Burnham látta meg először az üstököst szept. 15-én, Barnard pedig szept. 17-én.

Wolf a fotográfiai felvételt 72 cm.-es Foucault-féle teleszkóppal eszközölte, melynek gyújtótávolsága 2·8 m. A teleszkóp Zeiss ismert gyárában készült. A fotográflemez 1 óra hosszát volt kiteve a fény hatásának.

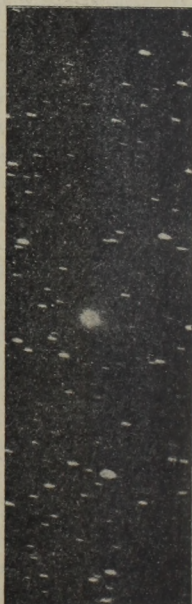
Az üstökös, mint említettük, ahhoz a helyhez igen közel jelent meg, melyet Crommelin és Cowell efemeridái kijelöltek. A különbség mindössze 8" volt rektaszccenzióban, 5' deklinációban. Oly rengeteg távolságban a perihéliumtól, 7 hónappal az átmenet előtt, ez valóban szép megegyezés. De Crommelin nem nyugodott bele e kis különbségbe sem. Fölhasználva az első megfigyelés-sorozatot, újból hozzálátott a számításokhoz és a perihélium-átmenet végleges érté-

keül 1910 április 19-ét jelölte ki greenwichi középideőben, a mi megfelel április 20-ika reggel 5 órának a mi zónaidőnk szerint. A további megfigyelések Crommelin számításával pontosan egyeztek. Efemeridákat mások is számí-



27. rajz.

1910. jan. 7-én.



28. rajz.

1910. jan. 30-án.

A Halley-féle üstökös

tottak, pl. Matkiewics és Iwanow orosz csillagászok. Crommelin és Cowell azonkívül visszafelé számították a Halley-üstökös pályáját egészen 760-ig Kr. e. Számításaikban egyedül a Newton-féle törvényre támaszkodtak

és sikerült nekik minden perihélium-átmenetre biztos történelmi bizonyítékokat is találni egészen 87-ig Kr. e. A számítások czélja mellesleg az is volt, hogy megtudják, nem működik-e a Halley-üstökös mozgásában más erő is közre a Newton-féle erőn kívül, pl. elektromos taszítás. A számítások egyezése a történelmi adatokkal eddig azt bizonyítja, hogy más erő lényegesebb hatást nem gyakorolt.

Bár Wolf volt ezúttal az első, a ki tudatosan fotografálta le a Halley-üstököst ezidei visszatértekor, mégis később kitudt, hogy két másik obszervatórium megelőzte, az egyik két nappal, a másik több mint egy hónappal. Midőn a greenwichi csillagvizsgálón átnézték a fotográffelvételeket, melyeket szeptember 11-ike előtt eszközöltek, találtak egyet szeptember 9-éről, melyen az üstökös is rajta volt; Helwanban (Egyptom) pedig augusztus elejéről találtak egy lemezt az üstökös első nyomával.

A mellékelt 27. és 28. rajz Wolf felfedezése után négy hónappal mutatja a Halley-üstököst. Az egyik 1910 január 7-én, a másik január 30-án készült fényképfelvételnek mása. Mindkét felvételt Quénisset eszközölte Juvisy-ben. A besugárzás ideje mindegyiknél valamivel több két óránál. Mily kevésbé hasonlítanak a kép közepén látható ködszerű foltocskák ahhoz, mit rendesen „üstökös“ alatt képzelni szoktunk! Jól észrevehető azonban az üstökös megnagyobbodása a második képen. Crommelin szerint az üstökös jelenlegi elemei a következők:

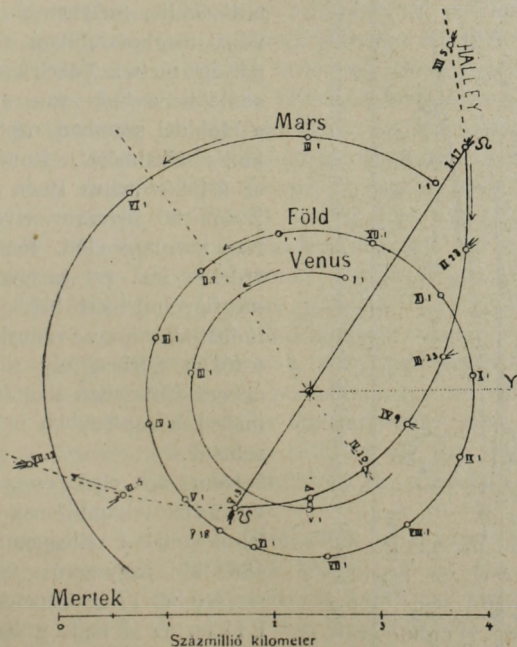
Átmenet a perihéliumon 1910 április	19 ^h 67
A perihélium távolsága a felszálló csomótól	111° 42' 16"
A felszálló csomó hossza	57° 16' 12"
Hajlás	162° 12' 42"
Exczenricitás	0.967281
Legkisebb távolság a Naptól (perihélium-távolság)	0.5872
	Föld-Nap-távolság.

Ennélfogva a legnagyobb távolság a Naptól ugyanezen egységben $35\cdot30334$, az ellipszis fél nagy tengelye $17\cdot94527$, a keringés-ideje $76\cdot029$ év.

A II. fejezetben a pályákról mondtak után ezek az adatok nekünk nem jelentés nélküli számok. Mi ezek alapján rajzot vagy akár papírmintát is készíthetünk magunknak, mely a Halley-üstökös pályájának fekvését, alakját, nagyságát híven szemlélteti. A 29. rajz feltünteti a pálya egy kis részét, mely a Jupiter-pályán belül esik és bennünket legjobban érdekel.

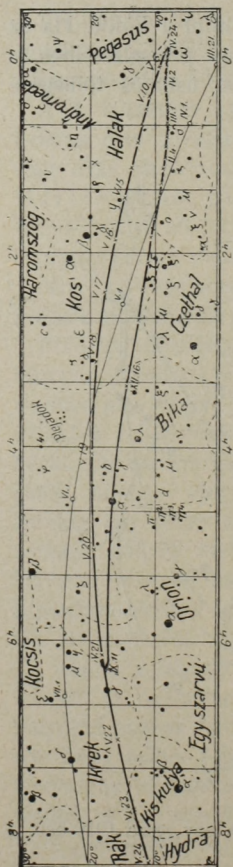
Mivel a Venus középtávolsága a Naptól $= 0\cdot723$, a Halley-üstökös perihéliuma a Venus-pályán belül esik, aféliuma pedig 5 Föld-Nap-távolsággal megy túl a Neptun pályáján, melynek közepes távolsága $= 30\cdot056$. Ha az üstököspálya excentricitása oly kicsiny lenne, mint pl. a Földé, akkor Halley üstököse a Saturnus és az Uranus között keringene a Nap körül. De excentricitása közel van az 1-hez s ezért a pálya alakja hosszan elnyúlt ellipszis, mely rajzunk méreteiben kerekén egy méter hosszú lenne. Mily kicsiny a Halley-üstökös pályája mellett a Földé! Az ellipszisdarab teljesen kihúzott része mintegy 18° -nyi hajlással ($= 180^\circ - 162^\circ 12'$) a papiros síkjából kiemelkedőnek gondolandó, a szakadozottan kihúzott rész ugyanannyival a papiros síkja alá hajlik. \bigcirc jelenti a felszálló, \bigcirc a leszálló csomót, V a tavaszpont irányát. A rajzon az üstökös, a Venus, a Föld és a Mars helyzetei vannak feltüntetve egyes napokon. Láthatjuk a rajzról, hogy május 1-én az üstökös igen közel jön a Venushoz, távolságuk mindössze 15 millió km. Venus hajlása az ekliptikához $3^\circ 23'$, míg üstökösünké 18° ; az üstökös síkja tehát a V . 1-gyel jelzett helyen a Venus síkja fölött megy el, tehát csóvája, mely mindig a pálya síkjában fekszik, nem érheti Venust, hacsak vastagsága nem mulná felül az összes eddigi esetekben tapasztalt méretet. A nagy közelségnél fogva, melyben az üstökös és Venus kerülnek, az üstökös perturbációkat

szenvedhet, bár Venus tömege kisebb, mint a Földé. Ha az üstökös tömege elég nagy, akkor Venus pályaelemeiben is előállhatnak kis változások, melyekből az üstökös tömegére



29. rajz. A Halley-féle üstökös pályájának egy része 1910-ben.

lehetne következtetni. Mivel eddig csak azt tudjuk, hogy az üstökösök tömege rendkívül csekély, azért ez a közeledés esetleg érdekes eredményeket fog szolgáltatni.



30. rajz. A Halley-féle üstökös látszólagos útja az álló csillagok közt 1910-ben.

Másképpen áll a dolog a Földdel. Május 19-én az üstökös áthalad az ekliptikán, a Föld-pálya síkján; de ugyanakkor a Föld éppen abban a pontban tartózkodik, melyben a csomóvonal meghosszabbítása a Föld pályáját metszi. Tökéletesen hasonló helyzetben van a Föld a Holddal szemben napfogyatkozás alkalmával. Ennélfogva az üstökös május 19-én reggel 2 óra 30 perczkor elvonul a Nap korongja előtt. Rendkívül érdekes lesz ezt az elvonulást megfigyelni, mert belőle megtudhatjuk, hogy vannak-e az üstökös fejében oly sűrű és akkora átlátszatlan alkotórészek, melyek a napfényben is észrevehetők.

Nem az első eset, hogy ily üstököselvonulásnak szemtanúi voltak a csillagászok. Az 1882-iki nagyszerű üstököst szeptember 17-én Capetownban Elkin és Finlay figyelték meg, mikor a Nap előtt elvonult; távcsöveikkel még észrevették, mikor a Nap korongjához közeledett, de az egész

elvonulás alatt teljesen láthatatlan volt, semmi nyoma sem mutatkozott a legcsekélyebb elvonuló foltocskának sem.

Ha a Halley-üstökös csóvája az idén hosszabb lesz 23 millió km.-nél, — ez a távolság választja el a Földet az üstököstől máj. 19-én — akkor az elvonulás ideje alatt érne fogja a Földet, mivel a csóva mindig a Nappal ellenkező oldalra — ez esetben tehát éppen a Föld felé — fordul. Említettük már, hogy Halley üstököse nem minden megjelenésekor volt egyformán fényes jelenség. 1456-ban óriási csóvával pompázott; 1682-ben is fényes jelenség volt, míg 1835-ben alig keltett nagyobb feltűnést. Ebből látszik, hogy csóva és fényesség folyton változnak. A fényességet és a csóvát nem lehet előre kiszámítani úgy, mint a pályát; ehhez még nem ismerjük eléggé az üstökösökben végbe-menő tűnemények természetét s még csak a pusztá megfigyelésre vagyunk utalva, a melyek azonban már eddig is következtetéseket engedtek vonni a csóvák természetére nézve. Barnard f. é. febr. 10-én a Halley-üstökös csóvájának hosszúságát 8 millió km.-nek találta, a fej átmérőjét pedig 307000 km.-nek, míg novemberben csak 20000 km. volt. 1835-ben a perihélium-átmenet előtt volt csóvája az üstökösnek, de az átmenet után eltűnt s csak mikor az üstökös már a Mars pályáján túl járt, képződött újra egy gyöngye csóva. A csóvákról a IV. fejezetben fogunk bővebben szólni.

A mellékelt 30. rajzon föltüntettük a Halley-üstökös látszólagos útját az állócsillagok között; ezt az utat figyelhetjük meg mi és ebből ki lehet majd számítani a valóságos, napkörüli útját az égitestnek, épp úgy, a mint a valóságos pályából ezt a látszólagos pályát számították. Az üstökös látszólagos útja a vastagabban rajzolt, nagy hurkot alkotó görbe vonal, a vékonyabban kihúzott vonal a Nap útját tünteti föl.

Még idecsatoljuk a Halley-üstökös perihélium-átmeneteit 240-től Kr. e. Crommelin szerint.

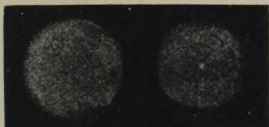
Kr. e.	240 május	15.	Kr. u.	837 február	25.
	163 május	20.		912 július	19.
	87 augusztus	15.		989 október	9.
	12 október	8.		1066 márczius	27.
				1145 április	6.
Kr. u.	66 január	26.		1222 szeptember	10.
	141 márczius	25.		1301 október	22.
	218 április	6.		1378 november	8.
	295 április	7.		1456 június	8.
	373 november	7.		1531 augusztus	25.
	451 július	3.		1607 október	27.
	530 november	15.		1682 szeptember	14.
	607 márczius	2.		1759 márczius	12.
	684 november	26.		1835 november	16.
	760 június	10.		1910 április	20.

A leghosszabb keringés-idő 79 év, 4 hó, 12 nap a 451—530. évek között, a legrövidebb 74 év, 5 hó, 4 nap az 1835—1910. évek között volt. A pálya perturbációi következtében a Halley-üstökös keringésének ideje tehát 5 évvel is megváltozhatik. A földi év tartamának változásai a többi bolygók háborgatásai folytán csak néhány perczre rúgnak.

Az üstökösök felfedezése ; elnevezésük. A távcsövet 1640 körül kezdték alkalmazni csillagászati megfigyelésekre. Ezen idő előtt természetesen csak oly üstökösöket ismerhettek, melyek szabad szemmel is láthatók voltak. A távcső alkalmazása azonban megtanított rá, hogy vannak oly üstökösök is, melyek szabad szemmel sohasem láthatók, melyek mindig „teleszkópikusak“ maradnak (31. rajz). *Az első üstökös, melyről biztosan tudjuk, hogy távcsővel fedezték fel, az 1729-iki. Sarabat látta meg először 1729 július 31-én. Távolsága a Földtől ekkor 483 millió km. volt. Érdekes ennél az üstökösnél, hogy perihélium-távolsága a legnagyobb vala-*

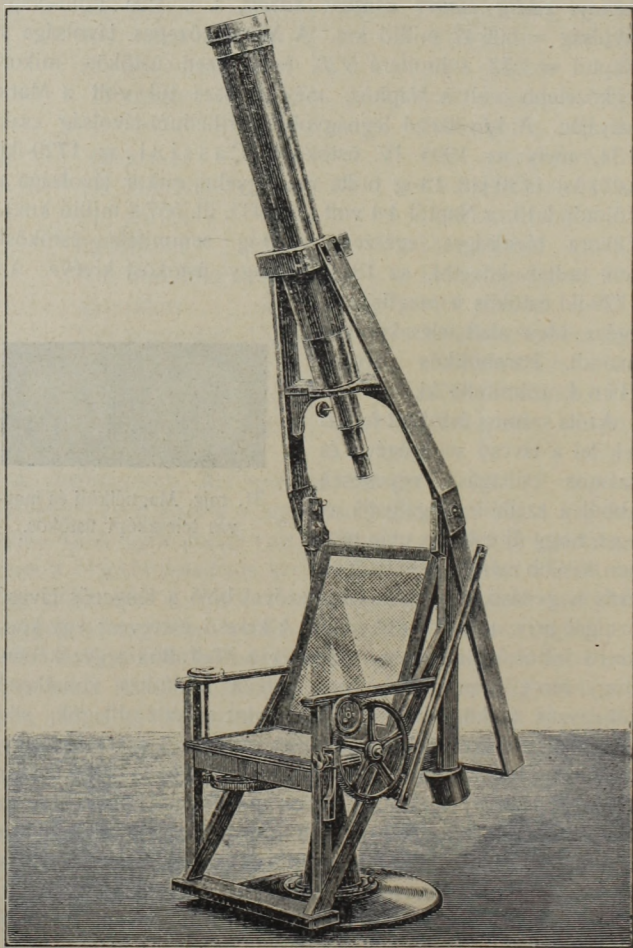
mennyi eddig ismert üstökös között, t. i. 4·05 Föld-Nap-távolság = 605·47 millió km. A Mars közepes távolsága a Naptól = 1·52, a Jupiteré 5·20, tehát ezen üstökös, mikor legközelebb volt a Naphoz, még messze túl volt a Mars pályáján. A következő legnagyobb perihélium-távolság csak 3·34, mely az 1905 IV. üstökösé. Cassini az 1729-iki üstököst 1730 jan. 18-ig tudta megfigyelni, mikor távolsága a Földtől 5·13, a Naptól 4·4 volt (766·935, ill. 657·8 millió km.). Ekkora távolságra egészen 1890-ig semmiféle üstököst sem tudtak követni, az 1811-iki nagy üstököst kivéve. Az 1729-iki üstökös a megfigyelés egész ideje alatt teleszkópikus maradt. Parabolikus pályáját Hind számította ki.

Azóta számos üstököst fedeztek fel a távcső segítségével és számos csillagász egyenesen abból a célból vizsgálhatja az eget, hogy új üstökös után nézen. Kisebb méretű, nem nagyon



31. rajz. Magnélküli és magnas teleszkópi üstökös.

erős nagyítású, de széles látómezővel bíró s fényerős távcső szolgál erre a célra (32. rajz). A kereső észrevesz egy ködszerű foltocskát az égen; utánanéző a ködfoltok jegyzékében, hogy van-e benne az ég ezen helyén ködfoltra vonatkozó följegyzés (a ködfoltok épp úgy, mint az állócsillagok, alig változtatják észrevehetően helyüket az égen s azért épp úgy, mint az utóbbiaknál, koordinátáikat jegyzékekbe foglalják össze). Ha nem talál ily ködfoltot, akkor megfigyeli, hogy van-e az újonnan talált foltocskának saját mozgása az állócsillagokhoz képest. Ha nincs, akkor új ködfolttal van dolga, ha azonban saját mozgást mutat, akkor üstököst talált (33. rajz). Az új jövevény felfedezéséről és koordinátáiról értesíti a többi obszervatóriumokat és néhány napi megfigyelés után már ki-

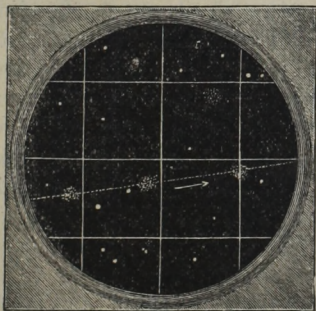


32. rajz. A strassburgi csillagvizsgáló űstököskereső távcsöve.

számítják az első közelítő pályát azért, hogy a csillagászok tudják, körülbelül merre kell irányítani távcsöveiket. Fölfedeztetésekor az üstökös mindjárt jelzést kap, még pedig az év számát és az ábécé egy betűjét a fölfedezés sorrendje szerint. Pl. 1910*a*. jelenti az ebben az évben felfedezett első üstököst, 1910*b*. a másodikat stb. Mikor az üstökös már többé nem látható, az összes megfigyelésekből kiszámítják az ú. n. végleges pályát, akkor végleges elnevezést is kap és pedig annak az évnek a számát, a melyben a perihélium-átmenet végbement és utána egy római számot a perihélium-átmenet sorrendje szerint. Pl. a Halley-üstökös 1835-ben az 1835 III. jelzést kapta, mert idősorrendben az ő perihélium-átmenete volt abban az évben a harmadik. Valami okból nevezetesebb üstökösök fölfedezőjük vagy pályájuk számítójának nevét kapják.

A legújabb korban a fotográfia is a csillagászat szolgálatába szegődött s mint tudjuk, a Halley-üstökös tavalyi visszatérését a fotográf-lemez jelezte legelőször. (De azért most is — csak úgy, mint hajdan — szabad szemmel is fedeznek fel üstökösöket. Az 1910*a*. üstököst pl. vasúti munkások látták meg legelőször.)

Fotográfia útján Barnard fedezett fel először üstököst 1892 október 12-én; ez volt abban az évben az ötödik üstökös, mely átment a perihéliumon s ezért az 1892 V. jelzést viseli. Pályáját Porter és Coniel számították. Azt



33. rajz. Az üstökös fölfedezése mozgása útján.

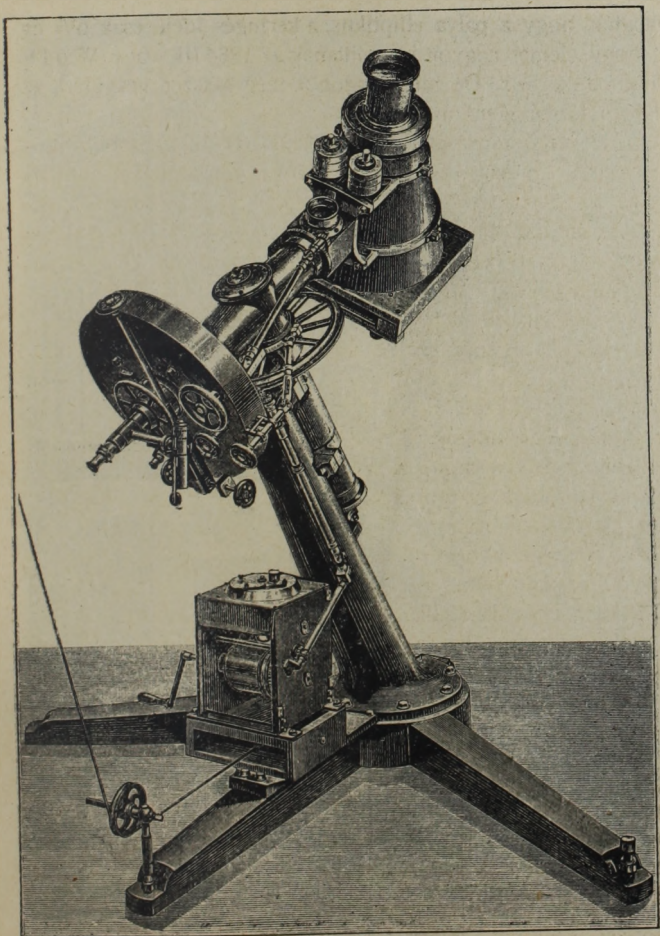
találták, hogy a pálya elliptikus, a keringés ideje csak $6\frac{1}{2}$ év és hogy elemei nagyon hasonlítanak az 1884 III. vagy Wolf-féle üstököshöz. De míg az utóbbi még kétszer visszatért, az előbbi többé nem mutatkozott.

Az ég fotografálására szolgáló műszert, ú. n. fotografikus ekvatoriált mutat a 34. rajz. Üstökös-fotografiákat úgy is lehet készíteni, hogy távcsőre vagy tükörteleszkópra megfelelő módon fényképezőkamrát alkalmazunk. Hazánkban Konkoly-Thege és Gothard eszközöltek számos üstökös-felvételt.

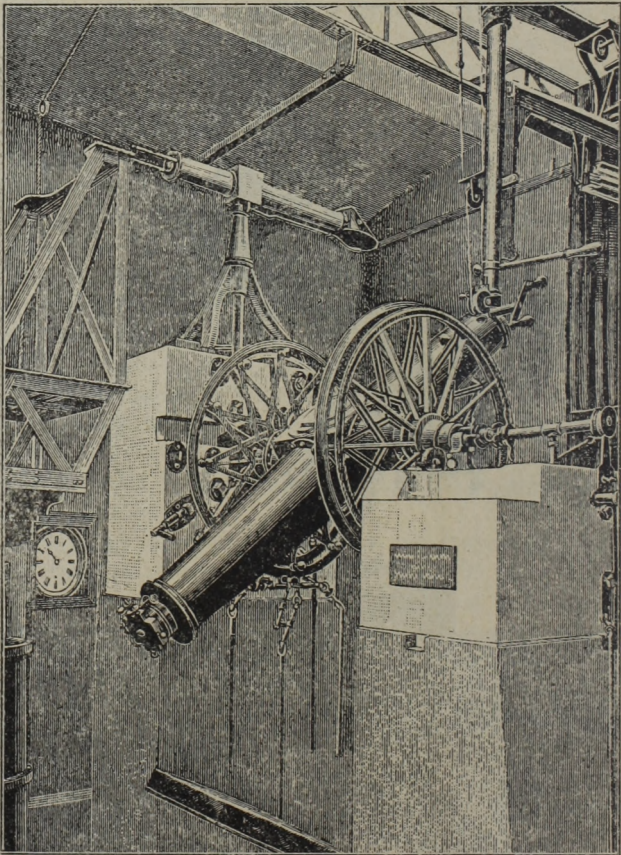
Az első sikerült üstökös-fénykép Janssen-től származik 1881-ből. A régebbi üstökösöket mind úgy rajzolták meg, a mint a szabad vagy a távcsővel felfegyverzett szem előtt megjelentek. Rajzolt és fotografált üstökös-képek észrevehető különbségeket mutatnak. Ez onnét van, hogy az emberi szem inkább a vörös és sárga sugarak iránt érzékeny, míg a fotograf-lemez az ibolya és ibolyántúli, ú. n. kémiai sugarakat érzi meg legerősebben.

Az égitestek koordinátáinak pontos meghatározására szolgál a meridián-távcső és a csillagászati óra (35. rajz). Üstökösöknél ez ritkán alkalmazható. Helyzetüket legtöbbször „csatlakozás”-sal állapítják meg (11. lap). A régi Jakobotja helyett erre a célra az újkori nagy távcsövek szolgálnak, melyeknek szemlencséje előtt kis szögek pontos mérésére alkalmas, ú. n. mikrométert helyeznek el. A 36. rajz az amerikai híres Lick-obszervatórium nagy refraktorának képét mutatja.

Még megjegyezzük, hogy valamely üstökös fotografálása közben a képnek nem szabad elmozdulnia. A nagyobb távcsöveket pontos óraművel szerelik fel, melyek a távcsövet a Föld forgásával ellentétes irányban forgatják, úgy hogy az egyszer beállított égitest órák hosszat a látómező közepén marad, hacsak saját mozgása nincs. Az üstökösök azonban

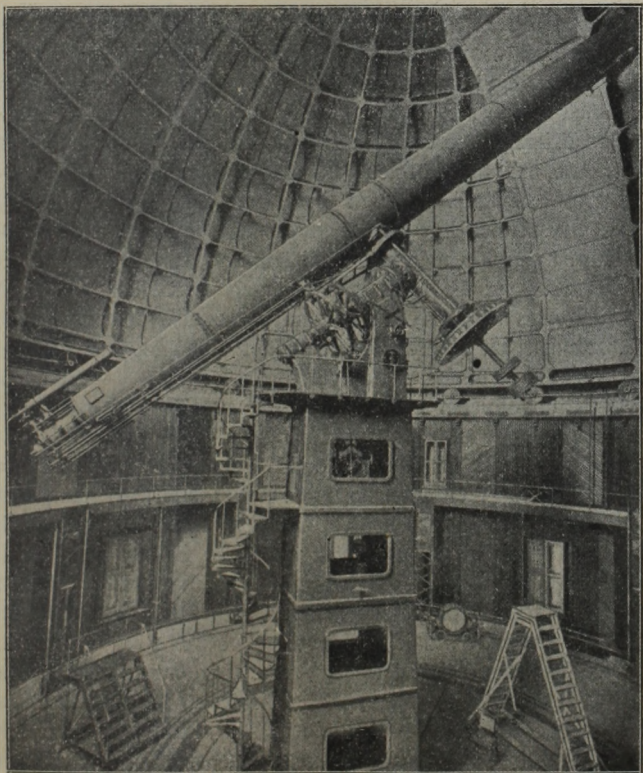


34. rajz. Fotográfikus ekvatoriál.



35. rajz. A párizsi obszervatórium egyik meridián-távcsöve.

aránylag gyorsan változtatják helyüket, azért arra szolgáló szerkezettel a távcsövet folyton rájuk kell igazítani. A látó-



36. rajz. A Lick-obszervatórium nagy refraktora.

mezőben vele együtt levő csillagok ennél fogva a besugárzás idejéhez képest hosszabb vagy rövidebb vonalnyomot hagynak hátra a lemezen, a mint azt számos, könyvünkben közölt fotográfián láthatjuk.

Az 1905 IV. üstökös. Hogy mily rendkívül érdekes eredményekre vezethet a pályaszámítás, megfigyelés és a fotográfia együttműködése, arra szolgáljon például a már említett 1905 IV. üstökös esete. Heidelbergben, az ottani asztrofizikai obszervatóriumon rendszeresen lefotografálják az égnak az ekliptika közelébe eső részeit, újabb kis bolygók főkerekése céljából. K o p f f ilyen lemezeket nézett át, hogy egy elveszettnek hitt kis bolygó esetleges nyomait megtalálja, mikor egy 1906 márczius 8-iki lemezen egy üstökös képét fedezte fel. Az üstököst az égen meg is találták és rövid megfigyelés után E b e l l kiszámította az első közelítő pályát. A számítás azt az érdekes eredményt adta, hogy az üstökös perihélium-távolsága rendkívül nagy, — 3.34 — hogy a perihélium-átmenet már a fölfedezés előtt 5 hónappal megtörtént és hogy az üstökösnek már jóval előbb kedvező körülmények között kellett láthatónak lennie. Ez arra indította E b e l l-t, hogy visszafelé az 1905. év elejéig terjedő efemeridát számítson ki, mely lehetővé tegye azoknak a lemezeknek pontos átvizsgálását, a melyek abban az időben az ég ezen tájékairól készültek. A fáradságot siker koronázta. W o l f megtalálta az üstököst egy lemezen, mely 1905 január 14-én — 413 nappal a tulajdonképpen felfedezés előtt — készült.

De W e i s s, a bécsi csillagvizsgáló érdemes igazgatója a pálya fekvéséből és méreteiből felismerte, hogy az üstökös — mely időközben 1906 június 22-én eltűnt a megfigyelők szemei elől — 1907 márczius vége felé ismét oly helyzetben lesz, hogy megfigyelhető lesz. Valóban 1907 márczius 21-én W o l f-nak sikerült az üstököst a fotográfia segítségével megtalálni, mire Nizzában és a Mount Hamiltonon távcsővel, Heidelbergben fotográfiai úton május 10-ig, végre a Mount Hamiltonon július 3-ig figyelhették meg. Am W e i s s a multba is visszatekintett és számításaiból azt találta, hogy az üstökösnek már 1903 december vége felé kedvező körülmények között

kellett láthatónak lennie, úgy hogy a régebbi fotograf-lemezeken való megkeresése sikerrel kecsegtetett. Efemeridát küldött tehát W o l f-nak és ez csakugyan megtalálta az üstököst egy 1904 január 10-iki lemezen, mint a láthatóság határán levő kicsiny, ködszerű foltocskát. Az üstököst tehát tulajdonképpen négyszer fedezték fel; láthatósága 1903 január 10-étől 1907 július 3-ig terjedt, összesen 1270 napra. Ily hosszú időre terjedő megfigyelések eddig semmiféle más üstökösről nincsenek. Az üstökös pályája — a számítások pontosságának határán belül — parabolikus és így belátható időn belül nem fog többé visszatérni.

Az Encke-féle üstökös. 1786 január 17-én M é c h a i n, a szorgalmas üstököskereső nagyon szerény külsejű kis üstököst fedezett föl és figyelt meg, melyet ezenkívül még csak egyszer, január 19-én tudott észrevenni. A kis üstökös eltűnt szemei elől. 10 évvel később, 1795 november 7-én H e r s c h e l K a r o l i n, a nagy H e r s c h e l W. nővére, ki maga is szorgalmas üstököskereső volt, fölfedezett és 20 napon át megfigyelt egy ugyancsak teleszkópikus üstököst. További 10 év múlva, 1805 október 19-én P o n s, a M e s s i e r-vel vetekedő üstökös vadász fedezett fel egy kis üstököst és 30 napon át figyelte meg. Ez időben B o u v a r d és H u t h is felfedezték ugyanezt az égitestet. 1818 november 26-án P o n s újra felfedezett egy kis üstököst, melyet 47 napon át tudott megfigyeléseivel kísérni. B o u v a r d kiszámította ennek az utóbbi üstökösnek a parabolikus pályáját — első közelítésben mindig parabolát számítanak, mert ez a legegyszerűbb — s akkor kitűnt, hogy elemei nagyon hasonlítanak a P o n s 1805-iki üstökösének elemeihez, úgy hogy rögtön az a gondolat merült fel, hátha a két üstökös egy és ugyanaz, hogy visszatérő és hogy keringésének ideje 13 év. De hátha eközben is visszatért? Ez nagyon valószínűtlennek látszott.

Abban az időben a H a l l e y üstökösén kívül még nagyon

kevés más visszatérő üstököszt ismertek s ezek keringés-ideje mind igen nagy volt. Már a nevezetes 1680-iki üstökösről azt hitte Halley, hogy keringés-ideje 574 év s hogy azonos az 1106., 531. és Kr. e. 43-iki üstökössel; Whiston ezt szinte bizonyosnak állította. Azonban Encke (1791—1865) 1818-ban kimutatta, hogy az 1680-iki üstökös keringés-ideje semmi esetre sem lehet kevesebb 2000 évnél. Bessel, Dunthorne és Pingré is azt hitték, hogy hosszú keringés-idővel bíró üstökösöket találtak s az általános meggyőződés az volt, hogy a Halley-üstökös 75 évnyi keringés-ideje már igen kicsiny.

Encke, ki nagyon jól értett a pályaszámításhoz, érdeklődött a Pons üstököse iránt, éppen a neki tulajdonított, feltűnően rövidnek látszó 13 évnyi keringés-idő miatt és Pons, valamint Nicolai megfigyeléseiből számítani kezdte a parabolikus pályát.

De csakhamar meggyőződött róla, hogy a parabolikus pálya sehogysem egyezik meg a megfigyelésekkel és hogy ezeket csak úgy lehet megegyeztetni, ha elliptikus pályát vesz fel. Midőn ezt az elliptikus pályát számította, minden kétséget kizáró módon arra a meglepő eredményre jutott, hogy ennek az üstökösnek keringés-ideje még 13 évnél is sokkal kisebb és hogy valójában csak $3\frac{1}{3}$ esztendő!

Encke azonnal átlátta, hogy ez korszakalkotó felfedezés lenne. A nagy Gauss megerősítette ezt a nézetét, Olbers pedig, ki az üstökös-pályák számításában ugyancsak elsőrendű szaktekintély volt, figyelmeztette őt arra, hogy talán nemcsak az 1818-iki és 1805-iki Pons-féle üstökösök, hanem Herschel Karolin 1795-iki üstököse (melynek pályáját maga Olbers számította ki), sőt talán még Méchain 1786-iki üstököse is egy és ugyanaz. Encke azonnal hozzálátott az azonosság kimutatásához és 1819 augusztusban elkészült értekezésével, melyben bebizonyítja,

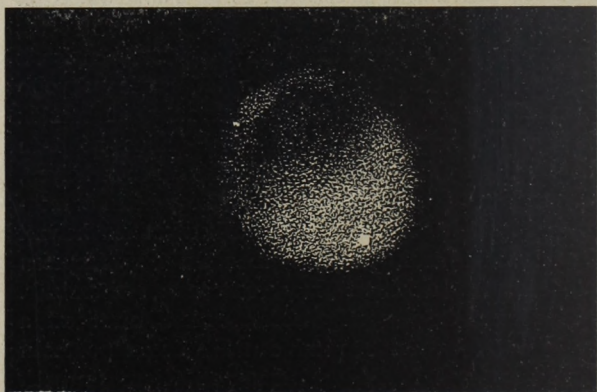
hogy ezek az észlelések mind egy üstökösre vonatkoznak és hogy ennek keringés-ideje csakugyan $3\frac{1}{3}$ év, a legrövidebb, melyet eddig üstökösnél ismerünk.

De — mondák azok, a kik meg voltak győződve az üstökösök hosszú keringés-idejéről — hogyan lehetséges az, hogy egy égitest, mely minden $3\frac{1}{3}$ évben visszatér a Nap közelségébe, oly ritkán volt eddig megfigyelhető. Erre azt lehetett felelni, hogy az üstökös teleszkópikus, kicsiny és gyöngfényű, tehát könnyen elkerülhette az észlelők és az üstökös vadászok figyelmét. Ez ugyan nem bizonyíték. De ha Encke-nek csakugyan igaza volt, akkor az üstökösnek 1822-ben ismét vissza kellett térnie. Encke erre az időre a legnagyobb gonddal számította ki a pályát a bolygók okozta perturbációk részletes figyelembevételével. És íme 1822 június hó 2-án Dunlop valóban fel is fedezte az üstököst azon a helyen, a melyet a számítás kijelölt és Rumker négy héten át megfigyelte. Az északi féltekén az üstökös a kedvezőtlen helyzet folytán nem volt látható. Encke számítása tehát fényesen beigazolódott. Az elméletet megerősítette a tapasztalás. Encke egészen élete végéig kísérte számításaival ezt a szerény égitestet; az üstökös minden $3\frac{1}{3}$ évben pontosan visszatért és egészen 1905-ig minden perihélium-átmenetét meg lehetett figyelni. Encke tiszteletére az ő nevéől nevezték el az üstököst (37. rajz).

Nemcsak azért érdekes ez az üstökös, mert keringés-ideje az eddig ismertek között a legrövidebb, vagy mert kiszámításának körülményei oly különösek voltak. Több más okból vonta magára az asztronómusok figyelmét.

Encke számításainál pontosan tekintetbe vette mindazokat a perturbációkat, melyeket a bolygók okozhatnak. A megfigyelés minden tekintetben igazolta a számítást, csupán a perihélium-átmenet időpillanata mutatott egy kis eltérést: az üstökös minden egyes alkalommal a számításnál körül-

belül $2\frac{1}{2}$ órával korábban jött legközelebb a Naphoz. Ennek magyarázatára Encke — Olbers sugallatára — föltette, hogy a tér, a melyben a bolygók és üstökösök mozognak, nem teljesen üres, hanem végtelenül ritka és finom anyaggal van kitöltve, mely az égitestek mozgásával szemben ellenállást fejt ki. „Az, hogy a sűrű és szilárd bolygók — írja Olbers Encké-nek — nem szenvednek észrevehető



37. rajz. Encke üstököse 1828-ban.

ellenállást, mitsem bizonyít ezen anyag jelenléte ellen, mert az üstökösök több ezerszer nagyobb térfogat mellett bizonyosan sok ezerszer kevesebb anyagot tartalmaznak. És éppen ennél a Pons-féle üstökösnél ily ellenállás már előre bizonyosnak látszik. Mozgásának nagy része a világűr ama tájékán megy végbe, melyben az állatövi fény anyaga terül el. Másrészt Herschel Karolin 1795 november 9-én az üstökösön keresztül gyöngítetlen fénynyel látott egy 13-ad

rendű csillagot. Ez azt bizonyítja, hogy az üstökös és az állatövi fény anyagának sűrűsége nem sokat különbözhetik egymástól és hogy így az ellenállás észrevehető lehet.“

Az üstökös keringés-idejének rövidülése a pálya tengelyének összezsugorodásával jár, tehát idővel az üstökösnek a Napba kell belezuhannia. Mivel Encke üstökösének keringés-ideje körülbelül 1210 nap, a keringés rövidülése pedig $2\frac{1}{2}$ óra minden keringésnél, könnyen kiszámíthatjuk, hogy ennek a belezuhanásnak 11 616 keringés, vagyis 38 720 év alatt kell bekövetkeznie.

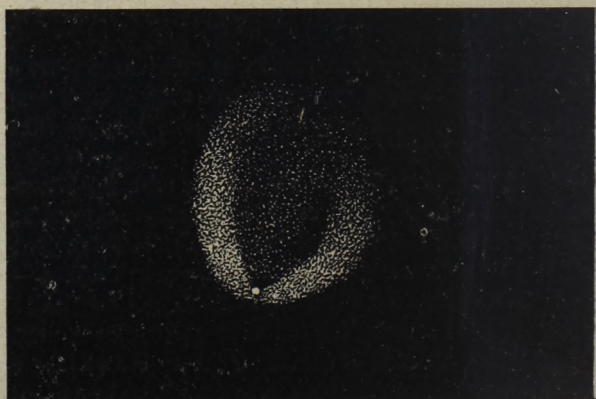
Miért nem történt ez már régebben és miért nem lehet a bolygóknál a középmozgás gyorsulásának még nyomát sem kimutatni? Pedig ennek is meg kellene lennie, bármily ritka is ez az ellenálló közeg.

Bessel nem osztotta Encke nézetét az ellenálló közegről. Szerinte az a taszító erő, mely a csóvákat okozza, az üstökösből anyagrészeket lök ki a Nappal ellenkező irányban és akkor — ha ennek az erőnek székhelye maga az üstökös — a hatás és visszahatás elve alapján az üstökösnek magának a Nap felé kell ügetnie. Az ágyú is hátrafelé gurul a lövés után.

Encke halála után Asten és újabban Backlund foglalkoztak behatóan üstökösünk mozgásával. Asten azt találta, hogy 1865-től 1871-ig az üstökös semmiféle szabálytalanságot sem mutatott: pontosan a kiszámított időben érkezett a perihéliumba (38. rajz). De 1871-től kezdve Backlund ismét észrevette, hogy az üstökös középmozgása gyorsul, bár nem oly erősen, mint Encke idejében. Ez tartott 1881-ig. Innét kezdve ez a gyorsulás folyton csökkent.

Backlund föltette, hogy az ellenálló közeg nincs egyenletesen eloszolva a Nap körül. Ezzel meg lehetne magyarázni bizonyos egyenetlenségeket Encke üstökösének mozgásában. Viszont a többi üstökösöknél is tapasztalni kellene az ellenálló közeg hatását. Egy ideig Oppolzer azt hitte,

hogy W i n n e c k e üstököse (1819 III.) mutat az E n c k e-éhez hasonló rövidülést a keringés-időben. De Haerdtl kimutatta, hogy ez nincs így. De oly üstökös is van, melynek középmozgása állandóan lassul és a melynek keringés-ideje szintén rövid — $5\frac{1}{2}$ év — s mely ennél fogva folyton távolodik a Naptól. Ez az üstökös a Brorsen-féle (1846 III.). Keringés-ideje 22 év alatt 10 nappal növekedett. Hogy

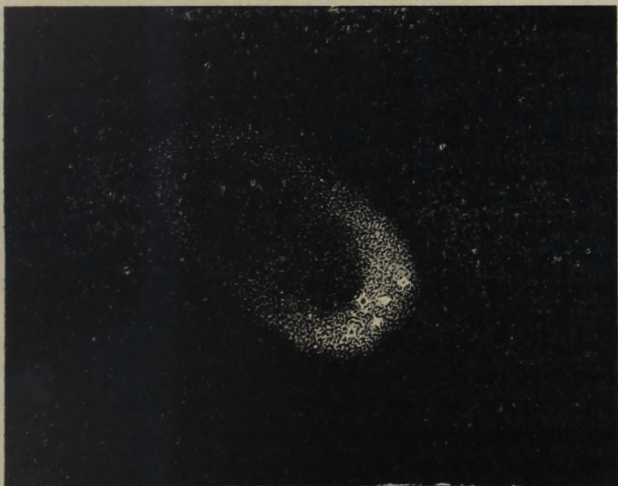


38. rajz. Encke üstököse 1871-ben.

lehet ezt megegyeztetni az ellenálló közeg jelenlétével? (39. rajz.)

Az E n c k e - üstökös mozgásának megmagyarázására Charlier fölteszi, hogy az üstökösnek két magja van, melyeket rendkívül ritka állapotban levő, gömbalakú gáz-tömeg vesz körül. Az egyik mag a gömb középpontjában, a másik tőle kissé oldalt foglal helyet. A két mag ugyanazon az ellipszisen kering a Nap körül; összes elemeik egyeznek,

csak perihélium-átmenetük különbözik kevésbé. Az a mag, a mely a középpontot foglalja el, követi a másikat és a föllépő Newton-féle erőnél fogva kissé lassítja mozgását, más szóval ugyanolyan hatást idéz elő, mint az ellenálló közeg. A nehézség itt az, hogy ez a két mag nem követhetné sokáig ugyanazt a pályát.



39. rajz. Brorsen üstököse 1868-ban.

Számos más módját is megkísérelték az Encke-üstökös mozgása magyarázatának. Poincaré, a híres matematikus-asztronómus azonban kimutatta, hogy egyik sem képes teljesen kielégítő feleletet adni. Ha megmagyarázza is az Encke-üstökös mozgását 1822-től 1865-ig, ellenmondás merül fel a későbbi időre és megfordítva.

Hasonló eset forog fenn a mi Holdunknál. Ennek középmozgása is gyorsul, évszázadonként kb. 10 ívmásodpercczel. Ezt a gyorsulást Halley fedezte föl.

A Föld pályája a többi bolygóktól perturbációkat szenved, elemei idővel kissé megváltoznak, változik tehát a pálya excentricitása is. Laplace, a hírneves matematikus-asztronómus kimutatta, hogy az excentricitás változása okozza a Hold középmozgásának százados gyorsulását. Ez volt Laplace számos szép fölfedezése között egyike a legszebbeknek. Újabb vizsgálatok azután megmutatták, hogy ekként meg tudunk magyarázni 6"-et a Hold százados gyorsulásából, a többi 4", melyet a megfigyelés kétségen felül kimutat, magyarázat nélkül marad.

Az Encke-üstökös középmozgásának gyorsulása majdnem 3800-szor akkora, mint a Holdé és itt még nem sikerült teljesen kielégítő és egységes magyarázatot találni. E két különös mozgástünemény magyarázata a későbbi jövőnek feladata lesz s a megoldás mindenesetre szép fölfedezéssel fogja gazdagítani az asztronómiát.

Encke üstököse némelykor igen közel jön Merkurhoz, a Naprendszer legbelsőbb bolygójához és ennél fogva mozgása háborgatásokat fog szenvedni Merkur részéről, melyekből viszont a Merkur tömegét lehet kiszámítani. Mivel Merkur tömege igen csekély, ezek a perturbációk is kicsinyek és nehezen ellenőrizhetők. Encke, Asten, Backlund, Leverrier különböző értékeket találtak a Merkur tömegére, melyek a Föld tömegének $\frac{1}{10}$ és $\frac{1}{30}$ része között ingadoznak; Newcomb szerint a legvalószínűbb érték $\frac{1}{23}$.

Encke üstököse rendesen teleszkópikus marad, de azért néha előfordult, hogy szabad szemmel is lehetett látni, pl. 1822-ben, 1862-ben és 1871-ben. Ilyenkor gyöngé csóva nyomát is mutatta. Az üstökösöknek tehát nem mindig van csóvájuk.

Az üstökös nagysága is rendkívüli változásokat szenved, mialatt a tér távolabbi részeiből a Nap felé közeledik. Pl. 1828 október 28-án 216 millió km. távolságban a Naptól az üstökös átmérője 499 000 km. volt, tehát közel 40-szer akkora, mint a Földé; december 24-én, 80 millió km.-nyi távolságban a Naptól, az üstökös átmérője már csak 224 000 km.-re rúgott, a mi kevesebb, mint az előbbi érték fele; 1838 december 17-én, 2 nappal a perihélium-átmenet előtt, 51 millió km.-nyi távolságban a Naptól, átmérője 4800 km.-re, az első érték egy tizedrészére zsugorodott össze. Ily óriási összezsugorodást sok más üstökösnél is tapasztaltak. A különös az, hogy az üstökös térfogata annál kisebb lesz, minél jobban közeledik a perihéliumhoz. Kielégítő magyarázat e föltűnő jelenségre eddig nincs. Herschel J. azt hitte, hogy ezen összezsugorodás csak látszólagos, a mennyiben az üstökös külső rétegei átlátszókká válnak, minél inkább közelednek a Naphoz. A tapasztalás azonban egyenesen ellenmond e föltevésnek.

Utoljára 1908 április 30-án kellett volna Encke üstökösének átmennie a perihéliumán. 1907 december 25-én Wolf föl is fedezett egy üstököst közel ahhoz a helyhez, melyen Encke üstökösének kellett volna lennie. Ebell a megfigyelésekből kiszámította az új üstökös pályáját és azt parabolának találta. Weiss újra fölvette a számítások fonalát, abból a föltevésből indulva ki, hogy az üstökös kettészakadt éppen úgy, mint annakidején a Biela-féle üstökös. Számításai azonban nem vezettek kielégítő eredményre. 1908 május 28-án Woodgate Cape Town-ban lefotografálta az üstököst, de ez $1\frac{1}{2}$ foknyira volt távol a számított helytől. Encke híres üstökösének sorsa egyelőre kétséges marad. További számítások és talán a jövő 1911. év — mikor az üstökösnek újból meg kellene jelennie — meghozzák a feleletet.

Biela üstököse. Az üstökösöknél a legfeltűnőbb és eddig még a legkevésbé magyarázható jelenség, külső alakjuknak gyors változása és sokfélesége. Encke üstökösénél láttuk, hogy a térfogat mily óriási változásokon mehet át és azt is említettük, hogy egy üstökösnek már több darabra szakadását is megfigyelték. Az 1618-iki üstökös szétszakadását Cysatus-on kívül Kepler is megfigyelte s kivüle mások is. De úgy látszik, hogy ez a megfigyelés feledésbe merült, sőt Pingré, az üstökösök történetének páratlan szorgalmú kutatója, egyenesen kétségbevonja Kepler észlelését. Azért keltett akkora meglepetést 1846-ban az a csudálatos jelenség, mikor egy üstökös szinte a megfigyelők szemeláttára vált ketté. Ezt az üstököst Biela osztrák százados nevére neveztek el. Felfedezésének története is már igen érdekes; még érdekesebb kettészakadása és talán a legérdekesebb az az összefüggés, a melyet végleges eltűnése és a novemberi csillaghullások között kimutattak.

1805 november 10-én Pons egy üstököst fedezett fel és figyelt meg egy hónapon át, melynek pályáját többen is számították, közöttük a híres francia matematikus Legendre, továbbá Bessel s mások. Bessel észrevette, hogy a tőle számított elemek nagyon hasonlítanak egy másik üstökös elemeihez, melyet Montaigne fedezett fel 1772 márczius 8-án. Azt következtette ebből, hogy az üstökös visszatérő és hogy keringés-ideje körülbelül 34 év. Midőn ezen az alapon elliptikus pályát számított, a számítás adta helyek nem egyeztek a megfigyeltekkel, Bessel tehát azt következtette, hogy a két üstökös nem azonos.

Gauss az ő új módszereivel minden egyéb feltevés nélkül közvetlenül elliptikus pályát számított a Pons-üstökös számára, mely az 1806 I. jelzést kapta és 4—7 év keringés-időt talált.

Morstadt, osztrák államhivatalnok, kinek Prágában

csillagvizsgálója volt, a mult század huszas éveinek elején arra a meggyőződésre jutott — hogyan, azt nem tudjuk — hogy *Montaigne* és *Pons* üstököse mégis egy és ugyanaz, de *Pons* üstököse az 1772-ikének ötödik visszatérése, tehát a keringés-idő körülbelül $6\frac{3}{4}$ év. Ő figyelmeztette jó barátját *Bielá-t*, a csillagászat nagy kedvelőjét, hogy az üstökös 1826 elején valószínűleg vissza fog térni. *Biela* százados, ki akkor a csehországi *Josephstadt*-ban állomásozott, nemcsak nagy buzgalommal kereste maga az üstököst, hanem még az őrtálló katonákat is kioktatta az üstököskeresésre. 1826 február 27-én fáradságát siker koronázta: felfedezett egy üstököst, megfigyelte és pályáját is kiszámította. Ez a számítás teljesen igazolta *Morstadt*-nak a keringés-időre vonatkozó feltevését.

Biela után 10 nappal a francia *Gambart* is felfedezte az üstököst, parabolikus elemeit is kiszámította és felismerte az üstökös azonosságát a korábbi *Pons* és *Montaigne*-félével. A francziák azért *Biela* üstökösét *Gambart* üstökösének is nevezték.

Miután bizonyos volt, hogy az üstökös visszatérő, előre kiszámították visszajövetelét 1832 novemberére. Az üstökös valóban visszatért és számosan megfigyelték.

1839-re *Santini* számította a pályát; ez a számítás mutatta, hogy 1839-ben lehetetlen lesz az üstököst a Földről meglátni, mivel az üstökös látszólagos helye állandóan a Nap közelébe esik. Sokkal kedvezőbbek voltak a megfigyelés feltételei 1846-ban, mely évnek február 11-ére esett a legközelebbi perihélium-átmenet. Az üstököst már 1845 november 26-án valóban újra meglátták.

Az üstökös eleinte semmi különöset sem mutatott. 1845 december 19-én *Hind* az üstökösön valami dudorodás-félét vett észre. December 21-én *Encke* az üstököst még egészen látta. Európában részint a folytonos borús idő,

részt a holdvilág miatt a gyöngé ködfoltot alkotó üstököst nem lehetett tovább látni. Deczember 29-én Maury, a washingtoni obszervatórium igazgatója, hosszúkásnak látta az üstököst. 1846 január 13-án pedig a kezdődő kettéválást észlelte, mely mindinkább észrevehetőbbé vált, mígnem január 27-én D'Arrest két különvált üstökösfejet látott. Az üstökös két teljesen különálló üstökösre oszlott, melyeknek alakja és fényessége is különböző volt (40. rajz).



40. rajz. Biela üstököse 1846-ban a kettéválás után.

A kisebbik üstökös, mely a pályában elől haladt, februárban nagyobbodni kezdett, mígnem fényességben nagyobbik társát is fölülmulta, de aztán fényessége csökkent, az üstökös maga is folyton kisebb lett, végre márczius 24-én teljesen eltűnt. A nagyobbik üstököst egészen április 27-ig lehetett látni. Mindkét üstökösnek volt magja, üstöke és csóvája; a nagyobbik társ csóvája kettősnek mutatkozott.

A két új üstökösnek egymástól való távolsága eleinte folytonosan nagyobbodott. D'Arrest csillagász, Encke volt segédje, ki behatóan észlelte a két üstököst, azt találta, hogy

1846 jan. 14-én 288 000 km., febr. 13-án pedig 314 000 km.-nyire voltak egymástól, míg márcz. 25-én ismét 280 000 km.-nyire közeledtek egymáshoz.

Természetes, hogy a csillagászok feszült várakozással néztek az üstökös következő 1852-iki visszatérése elé. Secchi vett észre 1852 augusztus 15-én egy gyöngé ködfoltot, melyről csakhamar kitűnt, hogy üstökös, de helye nagyon eltért attól, a melyet a számítás Biela üstökösének kijelölt. Szeptember 15-én azonban a második üstökös is láthatóvá lett



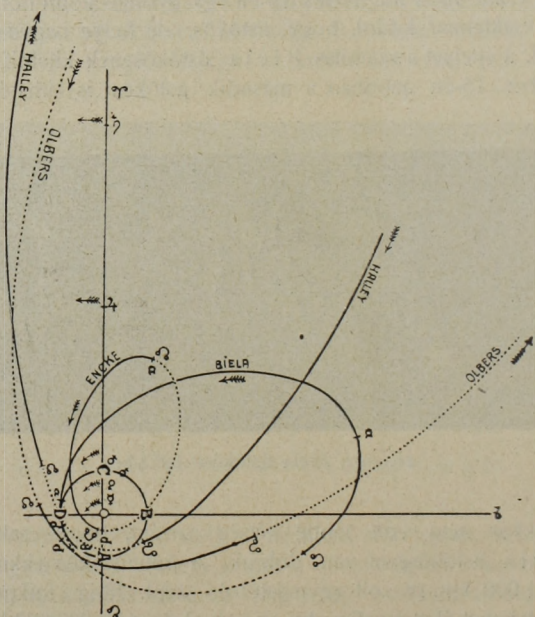
41. rajz. Biela üstököse 1852-ben.

és akkor nem volt többé kétség aziránt, hogy csakugyan Biela üstökösével van dolguk. A két üstökös ekkor már 2 441 000 km.-re volt egymástól és szept. 28-ig, mikor utoljára lehetett őket megfigyelni, ez a távolság még 200 000 km.-rel növekedett.

Ezúttal hol az egyik, hol a másik üstökös volt fényesebb, úgy hogy nem lehetett eldönteni, melyik tulajdonképpen a nagyobbik (41. rajz). Mindkettő nagyon nehezen volt látható gyöngé fényük miatt.

1859-ben, a mikor az üstökös-párnak újból vissza kellett

térnie, a pálya helyzete folytán nem lehetett őket látni. Ellenben 1866-ban kedvező körülmények között kellett megfigyelhetőknek lenniök, azonban semmi nyomuk sem mutatkozott, bár D'Arrest és Secchi kitűnő műszerekkel szorgal-



42. rajz. Halley, Olbers, Encke és Biela üstököseinek pályái.

masan keresték, mely alkalommal az utóbbi csillagász 14 új ködfoltot fedezett föl. Biela üstökösét többé nem látták az utolsó megfigyelés 1852 szeptember 28-án történt.

A Biela-üstökös pályájának leszálló csomója igen közel

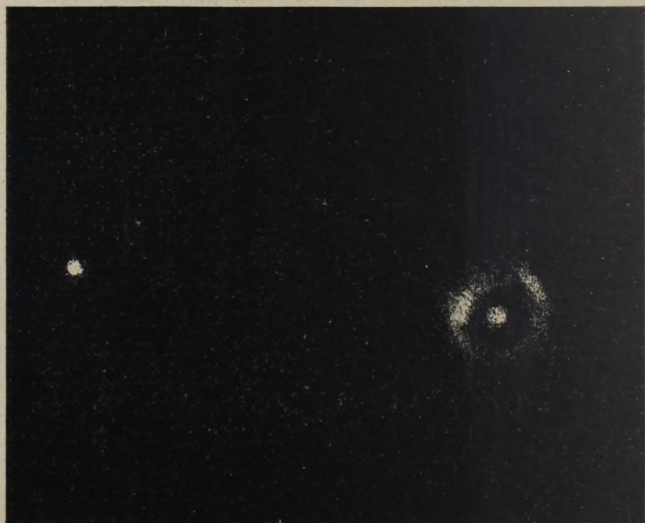
esik a Föld pályájához (42. rajz). Ebből az következik, hogy a Föld az üstököshöz nagyon közel jöhet, ha a két égitest mozgásában egyszerre ér a tér ama helyéhez. Ez az észrevétel 1832-ben óriási riadalmat okozott. Olbers t. i. kiszámította, hogy 1832 október 29-én az üstökös oly közel lesz a Föld pályájához, hogy az üstökös külső burkolata érinteni fogja a Föld pályáját, de maga a Föld a pálya ezen pontjába csak november 30-án — egy teljes hónappal később — fog érni. Az ujságok, az utóbbi lényeges körülményt figyelmen kívül hagyva, egyszerűen azt jelentették, hogy a Föld össze fog ütközni Biela üstökösével. A nagy riadalmat és rettegést, mely e hír nyomán támadt, csak Littrow fölvilágosító sorai tudták némiképpen enyhíteni.

A Halley-üstökös ezidei megjelenése is adott alkalmat hasonló ijesztő híresztelésekre. Hogy — jelenlegi ismereteink alapján — mit kell tartanunk egy üstökössel való össze-ütközésről, azt a könyvecske utolsó fejezetében fogjuk látni.

Liais kettős üstököse. Ezt az üstököst Liais fedezte föl Olindában (Brazília) 1860 február 26-án, de sajnos, csak alig 3 héttel eltűnése előtt. Az üstökös két részből állott. A nagyobbik közepén fényesebb foltocska foglalt helyet s ezt gyűrűszerűen övezte körül egy világító, halvány ködtömeg; a kisebbik gyöngye, halvány kis foltocska volt, mely a nagyobbik mozgását követte (43. rajz). Márczius 10-én a melléküstökös fénye növekedni kezdett, a főüstökös magva pedig eltűnt. Még érdekesebb változás következett be márczius 11-én. A főüstökösben két mag látszott, az egyik a közepén, a másik a peremén és úgy tűnt föl, mintha az üstökös kettéválni készülne. Következő nap újból csak egy mag volt látható a főüstökösben. Az érdekes üstökös parabolikus pályáját Pechüle számította ki; szerinte a két üstökös oly távol volt egymástól, mint Földünkől a Hold.

Brooks többszörös üstököséről már megemlékeztünk.

Biela, Liais és Brooks üstököse minden kétségen fölül bizonyossá teszik, hogy az üstökösök több darabra szakadhatnak és hogy teljesen el is tűnhetnek. A szétszakadást meg lehet magyarázni részben azokkal a nagy perturbációkkal, a melyeket az üstökös akkor szenved, a mikor nagyobb



43. rajz. Liais kettős üstököse.

tömegű bolygó közelébe kerül, részben az ilyenkor okvetlenül föllépő ár-apálytűneményekkel, belső robbanásokkal, az ellenálló közeggel s így tovább. Hogy ezen tényezők mindegyike hogyan és mennyiben érvényesül, arra nézve biztos ismeretünk nincs. Természetes azonban, hogy a szétszakadt üstökösök nem válhatnak semmivé. Az anyag nem

semmisülhet meg, tehát az üstökösök anyagának is meg kell maradnia, talán szétszórta, tőlünk észre nem vehető alakban, talán kisebb-nagyobb részecskéikben, melyek csapatosan keringenek a Nap körül s. melyekkel néha a mi Földünk is találkozik. De erről később.

Az 1744-iki üstökös (44. rajz). Egyike a legcsudálatosabb üstökösöknek, melyeket valaha láttak. Fényessége a perihélium-átmenet táján, márczius elején akkora volt, hogy még délben is szabad szemmel lehetett látni. Cheseaux és Heinsius figyelték meg behatóan. Heinsius már ezen az üstökösön észlelt oly kiáramlásokat, a minőket később Bessel írt le a Halley-üstökösről. A kiáramlás itt is eleinte a Nap felé fordult, azután hátrafelé görbült és átment a csóvába, mely a Naptól elfordult. Az üstökösöknek rendszeren egy csóvájuk szokott lenni, ritkán kettő, melyek közül a második sokkal gyengébb. Az 1744-iki üstökösön azonban hat pompás csóva képződött, mindegyik 30° – 45° -nyira húzódott végig az égen. Hatalmas, tündöklő égi legyező gyanánt terültek el egymás mellett a Nappal ellentett oldalon. Az üstökös, melyhez hasonlót eddig nem ismerünk, csakugyan csodálatos látvány lehetett. Parabolikus pályáját Plummer számította.

Egyéb üstökösök. Az 1769-iki üstökös szintén fényes jelenség volt. Gyönyörű csóvája 90° hosszúságban a fél égbolton húzódott végig. Messier fedezte föl. Pályáját Bessel számította ki és elliptikusnak találta. Keringés-ideje 2090 év.

Az 1797-iki üstökös azért érdekes, mert amaz év aug. 16-án igen közel járt a Földhöz; mindössze 13 millió km.-nyire volt tőle, tehát majdnem félannyira, mint az idén a Halley-üstökös. Ezen nagy közelség mellett is éppen csak hogy látható volt szabad szemmel. Parabolikus pályáját Olbers számította ki.



44. rajz. Az 1744-iki üstökös.

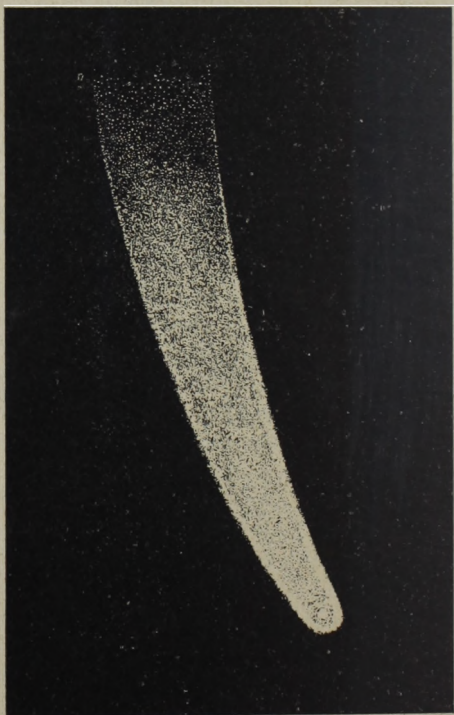
Az 1807-iki üstökös fényes jelenség volt. Jól megkülönböztethető magja másodrendű csillag fényével tündökölt; legfeltűnőbb volt óriási kettős csóvája. Fénye azonban gyorsan apadt és két hónappal fölfedeztetése után már csak távcsőben lehetett látni. Elliptikus pályáját Bessel számította ki, keringés-ideje 1713 év.

A mult század folyamán még több nagy üstökös vonta magára fényes megjelenésével laikusok és csillagászok figyelmét egyaránt. A beható megfigyelések számos új tapasztalattal gazdagították ismereteinket, ugyanannyi új kérdést vetve felszínre, melyekre a feleletet talán csak egy későbbi, bővebb tapasztalatokkal rendelkező kor fogja megadhatni.

Az 1811-iki üstökös (45. rajz) kedvező helyzetben heteken át volt látható az ég északi részén, mint ragyogó jelenség. Legnagyobb fényét a perihélium-átmenet után érte el. Csóvája 90 millió km. hosszú volt, látszólagos hosszúsága azonban csak 25° , mivel az üstököst tőlünk óriási távolság választotta el. Az üstökös magja elmosódott, világos korongnak látszott, melyet sötétebb gyűrű vett körül és csak ez után következett az üstök, mely a hatalmas csóvában folytatódott. Olbers leírása szerint az üstök parabola-alakú fényes ívben vette körül a gyújtópontban levő magot. Az üstököst távcsővel 511 napon lehetett megfigyelni; mikor Wiszniewsky 1812 január 11-én utoljára látta, a Földtől 4.3 , a Naptól 4.54 távolságban volt, tehát közel járt Jupiter pályájához. Az üstökös pályáját Argelander számította; ellipszist talált, melyet az üstökös 3065 év alatt fut be legföljebb 45 évnyi valószínű hibával. Herz legújabb számításai szerint a keringés ideje 3010 év.

Az 1843-iki üstökös hirtelen és váratlanul tűnt fel február 27-én. Közvetlenül napnyugta után a nyugati égen az Eridanus csillagképen végigvonuló fényes csíkot lehetett látni mintegy 45° -nyi hosszúságban. Távcsővel a látóhatárhoz

közel ködszerű üstökkel körülvelt fényes magot lehetett megkülönböztetni, úgy hogy nem lehetett kétség az iránt, hogy



45. rajz. Az 1811-iki üstökös.

a látott fényes csík egy üstökös hatalmas csóvája. Délebbre fekvő országokból jött hírek azt jelentették, hogy az üstököst

már február 28-án fényes nappal látták alig 4^o-nyira a Naptól.

Feltűnő volt az üstökös óriási csóvája, mely az aránytalanul kicsiny magból indult ki, keskeny, belül üres, szélein fényes fénykúp alakjában. A csóva hosszát 250 millió km.-re lehetett becsülni, 100 millió km.-rel hosszabbra, mint a Földnek a Naptól való távolsága. Másrészt az üstökös oly közel jött a Naphoz, mint — eddigi ismereteink szerint — semmi-féle más égitest. A perihélium-átmenet időpontjában, 1843 február 27-én, mindössze 826 740 km.-nyire volt a Nap középpontjától és mivel a Nap gömbjének sugara 695 540 km., az üstökös akkor csak 131 200 km.-nyire volt a Nap felszínétől, a mi harmadrésze a Hold-Föld távolságnak. Az üstökös ekkor 566 km. sebességgel haladt másodpercenként, 18·5-szer oly gyorsan, mint a Föld, melynek legnagyobb sebessége perihéliumkor 30·3 km. másodpercenként. Az aféliumban az üstökös sebessége csak 24·5 méter másodpercenként, a mi megfelel oly gyorsvonal sebességének, mely óránként 88·2 km.-t fut be.

A nagyszerű üstökös fénye és csóvája gyorsan csökkent és április 19-én eltűnt a megfigyelők szemei elől. Pályájának meghatározásával sokan foglalkoztak, ú. m. Boguslawski, Encke, Gould, Nicolai, Weiss és mások, legbehatóbban pedig Hubbard és Kreutz. Némelyek az 1668-iki, mások az 1702-iki üstökössel vélték azonosnak s ennek megfelelőleg 175 vagy 147 évre becsülték a keringés-időt; 35 évi keringés-időt is találtak, sőt parabolát meg hiperbolát is. Kreutz mutatta ki mindeme számítások tarthatatlanságát, mikor az 1880-iki és 1882-iki üstökösök pályájának összefüggését az 1843-ikiével kutatta. A leggondosabb kritikával végzett, mintaszerű számításainak eredménye az, hogy az 1843-iki nagy üstökös pályája ellipszis, keringés-ideje pedig 512 év.

Az üstökös pályájának pontos meghatározása azért volt oly nagyon nehéz feladat, mert a megfigyelésnek rövid időtartama a pályának csak igen kicsiny részére terjedt ki s azonfelül a nagy excentricitásnál fogva a pálya a perihélium körül majdnem összeesett a parabolával.

Az 1843-iki üstökös megjelenése után többen azzal a szemrehányással illették a csillagászokat, hogy ezen üstökös jövetelét nem tudták előre megmondani. Pedig ebben a csillagászok ártatlanok voltak. Megengedve még azt is, hogy az üstököst látták a XIV. században, akkor sem lehetett volna XIX. századbeli visszatérését még sejteni sem. Hiszen már megismertedtünk a pályameghatározás nehézségeivel és tudjuk, hogy az üstökös visszatérését csak akkor lehet előre megmondani, ha a pályát kiszámították. De ehhez pontos megfigyelések kellenek. Más dolog valamit látni, más megfigyelést végezni és más a megfigyeléseket összefüggésbe hozó elméletet alkotni. Hogy pl. Kreutz számítása helyes volt-e, arról az utókor fog meggyőződni 2355-ben, éppen úgy, mint Halley állításainak helyességéről csak 1759-ben lehetett teljes bizonyosságot szerezni.

Donati üstököse. 1858 június 2-án Donati firenzei csillagász kis, teleszkópikus üstököst fedezett föl az Oroszlán csillagképben, mely kezdetben lassú, később élénkebb saját mozgást mutatott. Az első megfigyelések után számított hozzávetőleges pályából arra lehetett következtetni, hogy az üstökös tetemesen meg fogja közelíteni a Napot meg a Földet is és hogy ennél fogva esetleg fényesebb jelenséggé fog fejlődni. Augusztus közepéig az üstökös teleszkópikus maradt. Július 19-én látszólagos átmérője már 5" volt, a mi megfelel 8755 km.-nek, tekintettel az üstökös távolságára a Földtől. Augusztus 20-án mutatkozott a csóva első nyoma és augusztus 29-én szabad szemmel is látható volt mint hatodrendű csillag. Szeptember 8-án az üstökös magjának átmérője

3200 km.-re, az őt körülvevő fénylő ködtömeg átmérője 4500 km.-re rúgott. Ezt a ködszerű burkolatot, az *üstököt*, fénykoszorú vette körül, melyet az ég sötét hátterén a magtól 81 000 km.-nyire lehetett követni. A csóva hossza akkor 26 millió km. volt.

Szeptember 12-én a mag fénye feltűnően növekedett s ekkor mutatkozott először a belőle kiinduló áramlás. A fej déli része határozottan fényesebb volt, mint az északi s ugyanez volt észlelhető a csóván is. Utóbb ez a különbség eltűnt, sőt az ellenkezőbe csapott át.

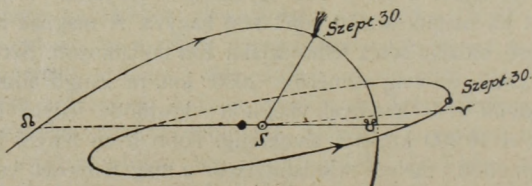
Szeptember 20-án még feltűnőbb változások vették kezdetüket. A fejből a csóva két egyenlőtlen fényáram alakjában indult ki, maguk között sötét rést hagyva. A magnak a Nap felé eső oldalán sötét, félholdalakú folt mutatkozott. Szeptember 23-án a mag átmérője 2000 km.-re zsugorodott, de rendkívüli erős fénynyel világított; körülötte fénylő burok terült el 10 000 km.-nyi távolságig. Több ilyen fénylő burok is képződött, melyet mindannyiszor a mag fényének csökkenése követett, épp úgy, mintha valami kitörés ment volna végbe. A csóva közepén sötét sáv húzódott végig, mely közvetlenül az üstökös magjáig terjedt. A mag a sötét sáv felé megnyúlt.

Szeptember 27-én új fényburok keletkezését lehetett észlelni. A csóva hossza 30 millió km. Új csóva is keletkezik, mely hosszú, vékony sugár alakjában nyúlik ki a fejből. Szeptember 30-án az üstökös átmegy a perihéliumon 86 millió km.-nyi távolságban a Naptól és 111 millió km.-nyi távolságban a Földtől, mely felé gyorsan közeledett (46. rajz). A félholdalakú fényes folt, mely a magot majdnem érintette, a mag fölé emelkedik, a folt belsejében pedig zűrzavaros rendetlenség észlelhető, mely megszűnik, a mint a folt a magtól a fej széle felé közeledik. A főcsóva hossza 41 millió km.

Október 2-án és 4-én új fényburokok képződnek. A mellék-

csóva hossza 54 millió km. Október 5-én éri el az üstökös fényének maximumát. Magja nappal is látható, bár átmérője most már csak 630 km. Október 20-án a mag ismét megnagyobbodott. Időközben több új fényes burok vagy gyűrű képződését lehetett észlelni. A csóva október 10-én látszott leghatalmasabbnak; hossza 82 millió km.-re növekedett.

Winnecke és Page mérései szerint a csóva keresztmetszete a fej közelében kör alakú, nagyobb távolságban a fejtől mindinkább elnyúlt ellipszis, melynek nagy tengelye a pálya síkjában fekszik. Encke és Bruhns azt találták,



46. rajz. A Donati-féle üstökös és a Föld pályája.

hogy az üstökös fejéből poláros fény indul ki,*) a miből az következik, hogy fénye visszavert napfény. Finom, sugár-szerű mellécsóvákat más üstökösöknél is észleltek, pl. az 1811 I., 1843 I., 1845 III. és még más üstökösöknél.

A pályát Asten, Löwy s legújabbán Hill számították ki. Hill, ki a legújabb kor egyik legkiválóbb matematikus-

*) A poláros fényben a fényrezgések nem oszlanak el részarányosan a sugárra merőleges irányok között, úgy hogy a Nicol féle hasábon át észlelt fényt hol sötétebbnek, hol világosabbnak látjuk a szerint, a mint a Nicolt szemünk előtt a fénysugár körül forgatjuk.

asztronómusa, elliptikus pályát talált 1950 év keringés-idővel. Asten 1879, Lowy 2040 évet kapott eredményül.

Donati üstökösét — mely egyébként az 1858 VI. jelzést viseli — alig múlta fölül más üstökös megjelenésének fényével és pompájával (24. rajz).

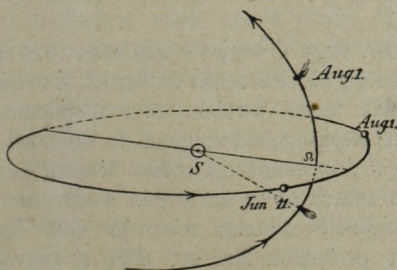
Az 1861 II. üstököst (1. rajz) Tebbutt fedezte fel Sydneyben május 13-án. Az üstökös szabad szemmel éppen hogy észrevehető volt. Csakhamar fényes jelenséggé fejlődött és június 20-án csóvája 40^0 -nyira húzódott végig az égen. Európában csak június 30-án lett láthatóvá, mikor röviddel napnyugta után tűneményes fényben jelent meg a látóhatár közelében. Fejében olyanféle változásokat lehetett észlelni, mint Donati üstökösében. Június 30-án a magot öt görbült fénykéve vette körül (47. rajz). Július 2-án a kévek eltűntek és helyüket összefüggő korong foglalta el, melyből két hosszúkas nyúlvány állt ki. A fényes, hosszúkas mag ezek között volt elhelyezve. A magból kiinduló fényáramlás egy határozott irányban ment végbe és nem mutatta azokat az ingaszerű mozgásokat a melyeket Halley és Donati üstököseinél észleltek. Fényburkolatok képződését is észlelték. Bond 11 ily burkolatot látott, melyek 2—3 napnyi időközökben követték egymást.

Az üstökösnek egy nagyobb egyenes és egy kisebb görbe csóvája volt. Július elején a csóva látszólagos hossza 100^0 volt, a mi megfelel 35 millió km. valódi hosszúságnak. Donati üstökösének csóvája látszólagosan csak 60^0 hosszúságra terjedt, valóságos hossza mégis 82 millió km.-re rúgott. A magyarázat az, hogy Donati üstököse körülbelül 4-szer oly távol volt a Földtől, mint az 1861 II. üstökös, mely 23 millió km.-nyire közelítette meg a Földet, épp úgy mint az idén a Halley-üstökös. Július vége felé az üstökös fénye rohamosan apadt; 29-én már csak egy csóvája volt mindössze 2^0 látszólagos hosszúsággal. Teleszkóppal az üstököst 1862 május 1-éig tudták megfigyelni.



47. rajz. Az 1861-iki nagy üstökös magja és fénykévéi.

Murmann, hazánkfia, a bécsi csillagvizsgáló asszisztense, már 1861 július 6-án számított ki előzetes pályát, a kevés-számú európai megfigyelésre támaszkodva. Az így számított elemek szerint az üstökös június 28. és 29. táján ment át az ekliptika déli feléről az északira, úgy hogy a Nap és a Föld közé került, a Földnek tehát át kellett volna haladnia az üstökös csóváján, ha aznap éppen a pálya ezen pontján tartózkodik. Egy ideig valóban azt hitték, hogy így lesz, de a pontosabb pályaszámításból kitűnt, hogy a Föld az



48. rajz. A 1861-iki nagy üstökös és a Föld pályája.

említett napokon mintegy 5 millió km. távolságban volt az üstökös felszálló csomójától (48. rajz). Pontosabb pályát Seeling számított; ellipszist talált 420 év keringés-idővel. Kreutz újabb számításai ezt az időt $409\frac{1}{2}$ évre szállították le.

Az 1862 III. üstökös nem volt ugyan olyan fényes jelenség, mint az előbbi, de érdekes azoknál a fizikai változásoknál fogva, a melyeket rajta észleltek. A fénykiáramlás feltűnő módon mutatta a Halley és Donati üstököseinél észlelt ingaszerű mozgást. Schmidt megfigyelései szerint e mozgás

egy szakasza ugyanannyi ideig tartott, mint a mag fényváltozásainak egy szakasza, nevezetesen 2·8 napig. Az üstökös feje is különös alakváltozásokon ment keresztül. A főcsóván kívül egy mellécsóva is mutatkozott, az előbbivel mintegy 60° — 70° -nyi szöget alkotva. Schiaparelli szerint a mag átmérője augusztus 24-én, két nappal a perihélium-átmenet után csak 560 km. volt. Fényburkolatok képződését itt is észlelték. Az elliptikus pálya elemeit Hayn számította. A keringési-idő 119·6 év. Érdekes ez az üstökös azért is, mert pályája összeesik az augusztusi meteorraj, az úgynevezett Perseidák pályájával, a miről e könyvecske utolsó fejezetében lesz szó.

Az 1874 III. vagy Coggia üstököse. 1874 április 17-én fedezte fel Coggia marseillei csillagász. Az eleinte halvány ködfoltocskának látszó üstökös fénye állandóan növekedett, mígnem július elején szabad szemmel is láthatóvá vált. Július 4-én és 5-én a mag rendkívül erősen fénylett és élesen meg volt különböztethető az őt körülvevő ködszerű üstöktől; a csóva látszólagos hosszúsága akkor 15° volt. A július 9-én bekövetkezett perihélium-átmenet után a csóva tetemesen megnövekedett és végre 60° hosszúságot ért el, úgy hogy július 15-ike és 23-ika között éjjélkor, mikor az üstökös feje már régen leáldozott, a csóvát mint hosszú és széles, fénylő sávot lehetett látni a látóhatár északi részén. Az üstökös színeképét Lockyer és Vogel figyelték meg. Zenker észlelései pedig megszilárdították azt a már több üstökösnél észrevett jelenséget, hogy Coggia üstökösének fénye oly poláros fény, melynek polárosságbeli síkja az üstökösön és a Napon megy át. A pálya elemeit Schulhof, Párizsban élő hazánkfia és újabban Heppenger számították. Utóbbi szerint a keringés ideje 13 700 év.

Az 1880 I. üstökös. Január 31-én látták először Ausztráliában és Dél-Amerikában, midőn közvetlenül naplemente után

csóvája mint 30° — 40° hosszú fényes sáv mutatkozott az égen, mely a Napból látszott kiindulni. Már az első pályaszámítások mutatták, hogy pályája nagyon hasonlít az 1843-iki üstököséhez és hogy éppen úgy, mint ez, igen közel jött a Naphoz. Perihéliumban a Nap felületétől mindössze 185 000 km.-nyire volt; sebessége ekkor 542 km. volt másodpercenként. Kreutz mutatta ki, hogy bár elemei nagyon hasonlítanak az 1843-iki üstököséihez, a két pálya mégsem azonos.

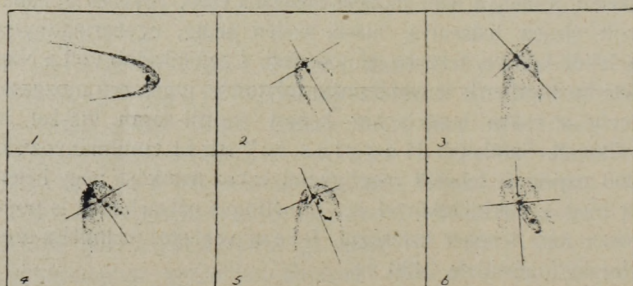
Az 1881. III. üstökös június utolsó napjaiban elég feltűnő jelenség volt. Csóvája, mely 20° hosszúságot ért el, azon a szélén, a mely a napi mozgás irányába esett, egyenes vonallal volt élesen határolva, másik szélén pedig, egyharmadnyira a fejtől kezdve, teljesen elmosódott. Legfeltűnőbb volt a Nap felé fordított erős fénykiáramlás folytonos, ingaszerű mozgása, mely a csóva tengelyéhez képest napról-napra 90° -kal is változott. Színképét Huggins és Vogel tanulmányozták. 268 napon át lehetett megfigyelni ezt az üstökösöt, négy héten át még a meridiánkörrel is, minélfogva pályaelemeit is pontosan meg lehetett határozni. Riém végleges számítása szerint keringés-ideje 2430 év.

1882. I. vagy Wells üstököse a perihélium-átmenetkor 9 120 000 km.-re közelítette meg a napot. Pályáját Rebeur-Paschwitz számította. Hogy az esetleg jelenlévő ellenálló közeg hatását megállapíthassa, külön számította a pályának perihélium-előtti és külön a perihélium-utáni részét, de észrevehető különbséget nem talált. A pálya parabolikus.

Igen érdekes volt az üstökös színképe, mely némiképpen elütött az eddig ismertektől. A színképekről a IV. fejezetben lesz szó.

Az 1882. II. vagy szeptemberi nagy üstökös. Szabadszemmel vették észre legelőször szeptember 3-án a déli földrészekén. Az első megfigyelés érdeme Finlay-nek jutott Capetownban szeptember 8-án. Szeptember 17-én Finlay és Elkin

megfigyelték az üstökös elvonulását a Nap korongja előtt. Teljesen olyan tünemény ez, mint napfogyatkozás alkalmával a Hold elvonulása a Nap előtt. Ha az üstökösben lett volna valami nagyobb méretű szilárd, átlátszatlan alkatrész, akkor az elvonulás alatt sötét folt alakjában kellett volna azt észlelni. Az üstököst azonban csak a Nap korongjáig lehetett követni, azután teljesen láthatatlan maradt, mígnem az ellenkező oldalon ismét előtűnt. A Halley-üstökös ez idén május 18-án hasonló megfigyelésre fog alkalmat adni. Állító-



49. rajz. Az 1882-iki nagy üstökös magjának szétválása.

lag már G a m b a r t figyelte meg az 1826 V. üstökös ilyen elvonulását, tehát ez az érdekes jelenség alig 100 év alatt harmadszor lesz észlelhető.

Sajátságos változásokon ment keresztül a szeptemberi nagy üstökös magja. Kezdetben gömbölyű volt, szeptember végefelé hosszúképpen megnyúlt és két fényes dudorodást mutatott; októberben a mag négy különálló részre oszlott szét (49. rajz) s egyúttal a fej közelében egy a Nap felé irányult csóvaalakú képződmény alakult, mely S c h m i d t szerint úgy festett, mint egy ködszerű fénylő anyagból való

cső. Október 10-én Schmidt az üstökös közelében ködtömeget vett észre, mely mindinkább távolodott a fejtől. Október 14-én Barnard mintegy 6^o-nyira az üstökös fejtől hat ily ködtömeget észlelt, melyek maggal bíró teleszkópikus üstökösökhöz hasonlítottak.

Az óriási üstökös szeptember 17-én ment át a perihéliumon, mikor a Nap felületét 450 000 km.-nyire közelítette meg. A pályát Kreutz tette beható s mintaszerű vizsgálat tárgyává. A négy mag közül a 2. számú volt a legfényesebb és Kreutz az első pályaszámítást erre alapította. 772 év keringés-időt talált, legfeljebb 3 évnyi bizonytalansággal. Az 1882-iki nagy üstökös igen tanulságos példa arra, mily nehéz feladat a pályameghatározás. Newton törvénye az égitest tömegközéppontjára vonatkozik és ennél fogva a megfigyeléseknél ennek koordinátáit kellene pontosan megállapítani. De hol van a nagy kiterjedésű üstökösfej tömegközéppontja? Ha az üstökösnek van magja, akkor fel lehet tenni, hogy a tömegközéppont a magban van; de a mag sem pontszerű és sokszor folytonos és gyökeres változásokat szenved. A megfigyelő tehát sohasem tudja ugyanarra a pontra beállítani távcsövét, minél fogva a megfigyelések tulajdonképpen különböző pontokra vonatkoznak, a mi a pályaszámítást rendkívül megnehezíti s az eredmény pontosságát is rontja.

Az 1882-iki üstökösnek eleinte csak egy magja volt és nagy valószínűséggel abba esett a tömegközéppont is. De később négy magja is volt az üstökösnek és így már nem lehetett megmondani, hogy közülük melyikben kell a tömegközéppontot keresni, sőt lehetséges az is, hogy a négy magon kívül esett. Kreutz mindezeket a lehetőségeket behatóan megvizsgálta. Szerinte csak az 1. számú mag, mely a Naphoz legközelebb állott, fut be oly pályát, mely az eredeti egy-séges mag útjától észrevehetően eltér. A többi három mag,

vagy a köztük levő bármely pont pályája visszafelé meghosszabbítva egyforma pontossággal egyezik az eredeti mag útjával. A négy mag pályája végeredményben különböző és lényegesen különböznek a keringés-idők, a melyek sorrend szerint 670, 770, 880 és 960 évnek adódtak ki.

Az eredeti mag keringés-ideje természetesen csak egyféle volt. Erre nézve csak annyit lehetett megállapítani, hogy sem 770 évnél kevesebb, sem 1000 évnél több nem lehetett és hogy ennél fogva az üstökös 880 és 1110 közötti időben jelenhetett meg. A jövőben az előbbi egy üstökös helyett négy fog megjelenni különböző időkben, 2550, 2650, 2760 és 2840 körül.

Kreutz a szétoszlás okát is kutatta. Elégséges oknak bizonyult egy erő, mely az első mag középpontjából kiindulva, a perihélium idején kissé módosította a szétvált magrészek sebességét. Az 1. és 4. számú mag leválásához 2·6 m. sebességváltozás elegendő 478 km. másodperczenkénti perihélium-sebesség mellett. A Nap közvetlen közelében okvetlenül beálló nagy felmelegedés talán elégséges magyarázatul szolgál, úgy hogy más erők után fölösleges kutatni. Ellenálló közeg hatásának nyoma sem volt kimutatható még a perihélium-átmenetkor sem.

Végül Kreutz figyelmeztet arra a sajátságos vonatkozásra, mely az 1843 I. és az 1882 II. üstökösök pályái között fennáll. A két pályasík metszésvonala ugyanis összeesik a pályák nagytengelyeivel és mivel az aféliumtávolság majdnem ugyanaz, Kreutz azt következteti, hogy a két üstökös eredetileg egy volt s hogy az eredeti üstökös valamelyik korábbi perihélium-átmenet alkalmával szakadt szét két darabra. Ehhez hasonló eset az 1882 II. üstökösnél észlelt mellék-üstökösök leválása, de nem a mag oszlása, mert a négy mag nem hagyta el az eredeti pálya síkját.

A perihélium-átmenet után az üstökös még hónapokon

keresztül feltűnő jelenség volt; 1883 február közepén az északi félgömbön láthatatlanná vált, míg a délin még június 1-én volt megfigyelhető, mikor tőlünk számított $4\frac{1}{2}$ Föld-Nap-távolságban eltűnt.

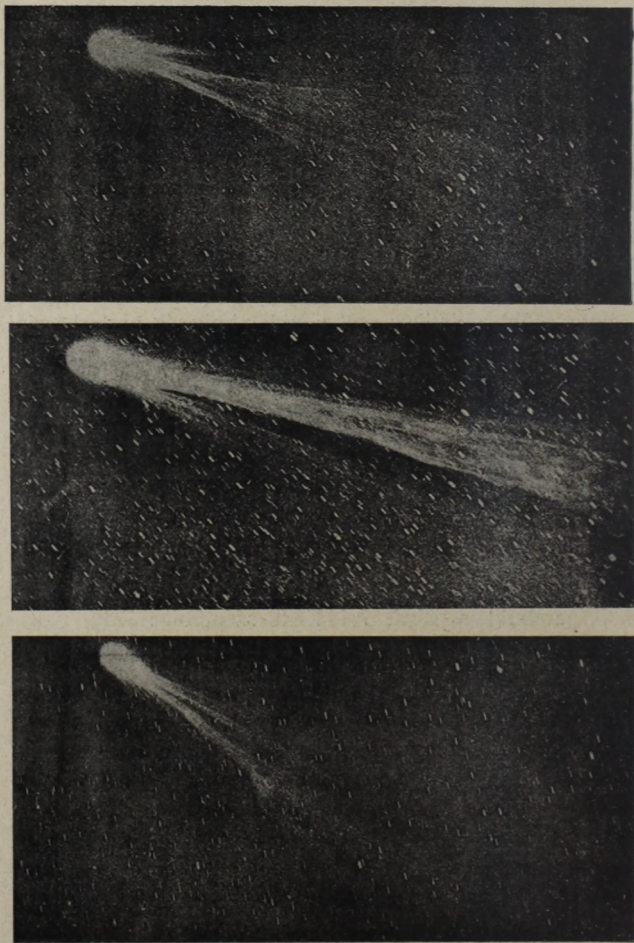
Az 1886 I. üstökös és az ugyanazon évbeli II. számú április havában egyszerre volt látható. Mindkettő elég közel jött a Földhöz, az első 0.2, a második 0.38-nyira. Az I. fényessége a fölfedezéstől számított 5 hónap alatt a kezdeti érték ezerszeresére emelkedett. Mind a két üstökös pályája hiperbolikus. Az 1886 II. üstökös pályájáról Th r ä n mutatta ki, hogy előbb elliptikus volt s csak a bolygók perturbációi folytán lett hiperbolikussá.

Az 1892 I. vagy Swift-féle üstökös csóvájának különböző fázisairól a mellékelt 50. rajz nyújt érdekes képet. Berberich szerint az üstökös keringés-ideje 20 100 év.

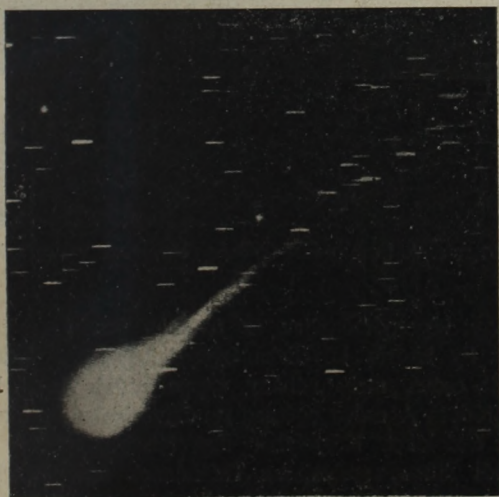
Az 1902 III. vagy Perrine-féle üstökösnél a fej tojásalakú volt; gyengén fénylő magja és nagyon rövid, egyenes csóvája volt, mely a tövénél olyanformán festett, mintha eltört volna (51. rajz). Pályája majdnem metszi a Merkúrét. November 30-án az üstökös 35 millió km.-nyire volt Merkurtól. A parabolikus pályát Aitken számította.

Az 1903. IV. üstököst Borelly fedezte föl. Fénylő magja kilenczedrendű csillagként mutatkozott és kis csóvának is látszott valami nyoma. Július 17-én érte el legnagyobb fényét, mikor szabad szemmel is látható volt mint valami harmadrendű, fénylő köddel körülvett csillag. Nagyon érdekesek voltak a csóvában tapasztalt változások (52. rajz). Július 23-ig a csóva, egyenes, de 24-én két csóva lép föl, melyek közül a második mintha csak hozzá lenne ragasztva az elsőhöz, nem a fejből indult ki. Ez a ritka tünetény nagy mértékben keltette föl a csillagászok érdeklődését.

Az 1908 c. vagy Morehouse-üstökös. Fölfedezése szeptember 1-én történt. Az üstökös gyors egymásutánban saját-



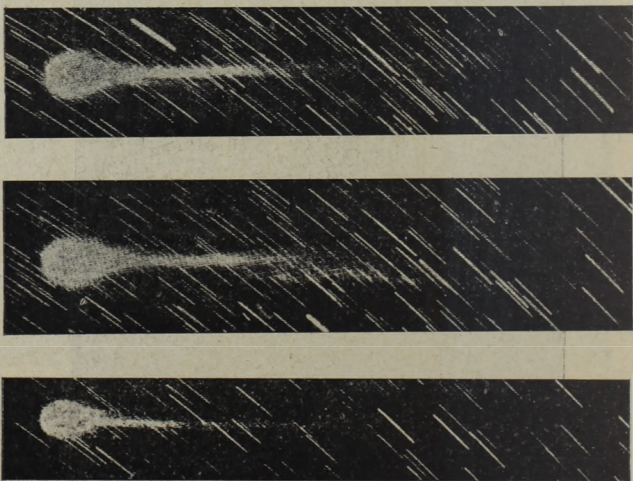
50. rajz. A Swift-féle üstökös csóvájának különböző fázisai.



51. rajz. Perrine üstökösének fotográfiái.

ságos változásokat mutatott. Először teleszkópikus volt, majd szabad szemmel lett láthatóvá, aztán ismét teleszkópikus, majd ismét szabad szemmel látható.

Úgy látszik, hogy ennél az üstökösnél több fénykitörés fordult elő, melyek azonban nem a mag fényességének emelkedésében, hanem a csóva képződésében nyilvánultak,



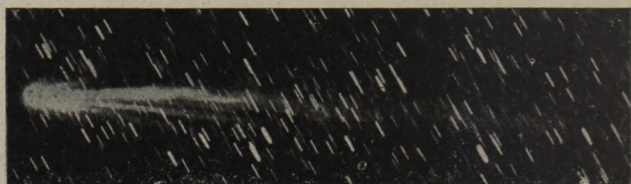
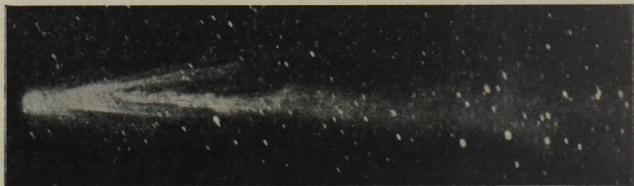
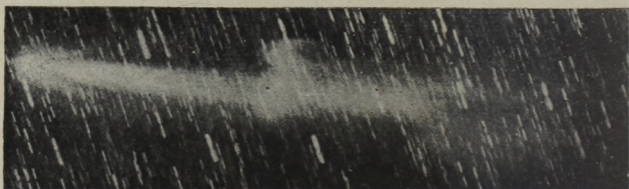
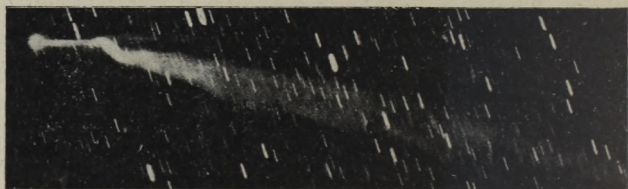
52. rajz. A Borelly-féle üstökös csójának változásai.

úgy hogy végeredményben az üstökös összes fényességét emelték. Ily kitörés következménye lehetett a felfedezésnél észrevett csóva, mely néhány nappal utóbb eltűnt, később újra fejlődött. A csóva egészen rendkívüli jelenségekkel lepte meg az észlelőket. Némelykor úgy látszott, mintha fényes felhőkből állana, melyek az üstökösnek aránylag kicsiny

fejétől mindinkább távolodtak. Egyszer a csóva, mintha erőszakkal törték volna meg, hirtelen oldalt görbül; máskor a fejnél alig vehető észre és csak nagyobb távolságban mutat erősebb fényt, több ágra oszlik stb. Hogy mi ment végbe az üstökösön, azt teljesen kielégítő módon alig lehet megmagyarázni. A fotográfiák (53. rajz) híven megörökítik ugyan a változások számos mozzanatait, de még sok évi megfigyelés és tanulmány lesz szükséges ahhoz, hogy az üstökösök külsejének ezerféle változásai között oly összefüggést lehessen majd megállapítani, mint a minőt Newton talált a tömegközéppontok mozgásai számára.

Lexell üstököse és az üstökösök lebilincselése. 1770 június 14-én Messier egy üstököst fedezett fel, mely 110 napig volt megfigyelhető, tehát elegendő anyagot szolgáltatott a pálya pontosabb kiszámításához. Első esetben fordult elő, hogy a parabolikus elemek nem egyeztek a megfigyelésekkel és hogy elliptikus pálya számítására kellett gondolni. A számítást Lexell végezte és azt találta, hogy az üstökös keringés-ideje csupán 5 év 7 hónap. Az üstökösnek tehát 1776-ban vissza kellett volna térnie, de úgy ekkor, mint később minden keresés hiábavalónak bizonyult. Az üstökös eltűnt.

Már Lexell észrevette, hogy az üstökös 1767-ben és 1779-ben a Jupitert erősen megközelítette, úgy hogy nagyobb perturbációkat szenvedhetett. Ezen háborgatások pontosabb meghatározását Laplace szép vizsgálatai tették lehetővé. Laplace felszólítására Burckhardt végezte a számításokat. Ezek szerint az üstököst a Jupiter kényszerítette 1767-ben abba a rövid keringés-idővel bíró pályába, melyet Lexell számított. 1776-ban az üstököst nem lehetett látni, mert a Nap állandóan eltakarta. 1779-ben az üstökös újra a Jupiter közelébe került. Az üstökös pályáját a Jupiter-okozta perturbációk gyökeresen megváltoztatták: a perihélium-távolság, mely azelőtt 0.67 volt, 3.33-ra nagyobbodott, de



53. rajz. Morehouse-féle üstökös különböző fázisai.

pályája elliptikus maradt. Az üstökös tehát a nagy távolságnál fogva marad láthatatlan és tudjuk, hogy eddig csak két üstököst ismerünk, melynek perihélium-távolsága 3.34 , illetve 4.05 .

Az előbbi fejezetben említettük Brooks üstökösét, melynek pályáját szintén a Jupiter perturbációi változtatták meg, csak hogy itt a hatás ellenkező volt, a mennyiben a perihélium-távolság kisebbedett.

Laplace-nak azt az elméletét, a mely szerint egy nagyobb tömegű bolygó a közelébe jutott üstökös pályáját meg tudja változtatni, elnevezték a *kaptiválás*, *lebilincselés* elméletének; a bolygó mintegy megfogja az üstököst, de el is űzheti.

Lexell üstököse ismét magára vonta az érdeklődést, mikor Leverrier kimutatta, hogy a Faye- (1843 III.) és a de Vico-Swift- (1844 I.) üstökösök megközelíthetik Jupitert az ég azon tájékán, a melyben Lexell üstökösének pályaváltozása végbement. Leverrier óriási számításokat végzett az üstökösök összefüggésének kiderítése céljából, de eredmény nélkül. Chandler Brooks (1889 V.) üstökösével, Schulhof pedig az 1886 VII. és 1895 II. üstökösökkel akarták Lexell üstökösét azonosítani, a nélkül azonban, hogy biztos eredményre jutottak volna.

Brorsen üstökösét (1846 III.) is oly időben fedezték fel, mikor közvetlenül azelőtt erős háborgatásokat szenvedett Jupiter részéről. Már említettük, hogy ezen üstökös közepmozgása állandóan lassul, hogy többször visszatért és 1879 óta eltűnt. Kevéssel az 1894 I. vagy Denning-féle üstökös felfedezése után Hind azt találta, hogy ez az üstökös pályájának egy pontjában nagyon megközelíti a Brorsen üstökösének pályáját és hogy 1881 januárban a két üstökös egyidőben tartózkodott ezen a ponton. Lamp, ki részletes számítással megerősítette ezt a tapasztalatot, erre azt a merész feltevést kockáztatta, hogy azon a helyen heves

robbanás következtében az eredetileg összefüggő egészet alkotó üstökös kettészakadt. Sch ul h of szerint a robbanásnak oly óriási erővel kellett volna végbemennie, hogy a keletkező két üstökös sebessége az eredeti 7·5 km.-ről 10·5, illetve 4·5 km.-re változzék, a mit nem tart valószínűnek. Sch ul h of azt találja, hogy a két üstökőspálya metszéspontja egyszersmind a pályák ama pontja, a mely a Jupiter-pályához legközelebb esik és az üstökös ezen a ponton szakadt ketté a Jupiter perturbációi folytán.

Az üstökösök mozgásának és pályáinak vizsgálata egy nagyobb tömegű bolygó közelében az égi mechanika legérdekesebb, de egyszersmind legnehezebb feladatainak egyike. Számosan foglalkoztak vele — újabb időben különösen Callandreau, Tisserand és Newton A. — a nélkül, hogy sikerült volna a felmerülő számtalan nehézséget mind legyőzni; sőt azt kell mondanunk, hogy a teljesebb megoldás csak a távol jövőben várható.

Üstökös-statisztika. A következőkben összeállítunk néhány, az üstökösökre vonatkozó általános adatot.

Lássuk például, hogy hány üstököst láttak eddig szabad szemmel, hányat csupán távcsővel, a visszatérő üstökösök minden megjelenését beleszámítva, de eltekintve 24 üstököstől, melyeket csak egy-két estén pillantottak meg. (L. a táblázatot.)

Az összes, szabad szemmel eddig látott üstökösök száma 598, a csupán távcsővel látottaké 267; összesen tehát 865 üstökös megjelenéséről van tudomásunk 1907-ig bezárólag. Az 1500 előtti adatok meglehetősen bizonytalanok. Az eddig látott üstökösök számából nem lehet következtetni a valóban létezők számára. Bizonyos, hogy sokkal több van; Kepler azt tartotta, hogy az üstökösök oly sokan vannak, „mint a halak a tengerben“. A XIX. századbeli nagy szám azzal magyarázható, hogy akkor kezdték az üstökösöket rendszeresen keresni.

Üstökös t lá t t a k					
Kr. e.	szabad szemmel	csak távcsővel	Kr. u.	szabad szemmel	csak távcsővel
—500-ig	3	—	600—699	21	—
499—400	6	—	700—799	13	—
399—300	7	—	800—899	31	—
299—200	5	—	900—999	20	—
199—100	18	—	1000—1099	28	—
99—1	14	—	1100—1199	22	—
			1200—1299	25	—
Kr. u.			1300—1399	31	—
1—99	21	—	1400—1499	35	—
100—199	18	—	1500—1599	38	—
200—299	35	—	1600—1699	12	—
300—399	21	—	1700—1799	39	23
400—499	19	—	1800—1899	85	217
500—599	24	—	1900—1907	7	27

Az 1907. év végéig kiszámított végleges pályák száma 388, elhagyva néhány, régi megfigyelésekre alapított bizonytalan pályát és a visszatérő üstökösöket csak egyszer számítva. Ezen pályák közül

120 elliptikus,
242 parabolikus,
26 hiperbolikus.

Feltűnő a parabolikus pályák túlnyomó száma. Ennek többféle oka van. Az üstökösök csak perihélium-átmenetük közelében láthatók és akkor is csak azok, a melyek elég közel jönnek a Földhöz és a Naphoz. A perihélium közelében pedig ellipszis, parabola és hiperbola igen közel összeesnek.

Azonfelül a megfigyelés csak a pálya igen kis részére terjed ki, úgy hogy a parabola ezt a kis darabot teljesen visszaadja, de ebből még nem szabad következtetnünk, hogy ezen a darabon túl is csakugyan parabola a pálya.

A legkisebb exczentricitás az 1892 III. üstökösé, t. i. 0.40953; a legnagyobb az 1885 II.-é, t. i. 1.00285. A hiperbolikus pályák exczentricitása tehát csak igen keveset tér el az egységtől.

10 évnél kisebb keringésideje van 33 üstökösnek; 10 és 20 év között van 2, 30 és 40 év között 1, 40 és 50 év között 1, 60 és 70 év között 1, 70 és 80 év között 4, 80 és 90 év között 1, 100 és 200 év között 2, 200 és 300 év között 3, 300 és 500 év között 6, 500 és 1000 év között 7, 1000 és 5000 év között 17, 5000 és 10 000 év között 9, 10 000 és 50 000 év között 14, 50 000 és 100 000 év között 7 üstökös keringésideje.

A többi visszatérő (elliptikus) üstökös keringés-ideje 100 000 éven felül van. A legnagyobb számított keringésidő 1 247 000 év az 1851 III. üstökösé Spitaler végleges pályaelemei szerint. Ezen üstökös perihéliumkor közelebb jön a Naphoz, mint a Föld, aféliumkor pedig 23 169-szer van távolabb a Naptól, mint mi. Eddigi ismereteinek szerint a hozzánk legközelebbi állócsillag, az α Centauri, 274 100-szor oly távol van a Naptól, mint a Föld. Ekkora tengelylyel bíró ellipszist 50.7 millió év alatt futna be egy üstökös. Spitaler eredménye csak látszólag nagy; hiszen a túlnyomó számban levő parabolikus üstökösök keringésideje végtelen!

Eddig 18 visszatérését lehetett többször megfigyelni.

A Föld pályáján belül fekszik 258 üstökös perihéliuma, a Föld pályáján kívül pedig 130-é. A legkisebb perihélium-távolság, 0.00553 (= 826 740 km.), az 1843 I. üstökösé; a legnagyobb, 4.0505 (= 673.5 millió km.), az 1729-iki üstökösé. Összehasonlítás kedvéért megemlítyük, hogy a Merkúr legkisebb távolsága a Naptól 46 millió km., a Földé 147 millió km., a Jupiteré pedig 740.3 millió km.

IV.

Az üstökösök fizikája.

A színeképelemzés vagy spektrum-analízis. Teljesen elsötétített szobába bocsássuk be a Nap fényét kicsiny, kör-alakú nyíláson át. Kellő távolságban tartsunk fehér papírlapot a szobába hatoló fénysugarak útjába: a papíron fényes kis korong fog mutatkozni, mely nem egyéb, mint a Nap képe. Helyezzünk most a nyílás és a papírlap közé a fénysugarak útjába háromoldalú üveghasábot. Ily szép símára csiszolt üveghasábokat sokszor használnak nagyobb függőlámpák díszítésére s ha ily üveghasábon át szemléljük a tárgyakat, úgy azok körvonalai gyönyörű piros, zöld, kék stb. színekkel pompáznak. Ezt az egyszerű, minden gyermektől ismert kísérletet pontosabb és gondos vizsgálattal ismétli a fizikus. Csakhogy a fizikus nem elégszik meg azzal, hogy az említett színes tűnemény fellépését megállapítja; ő tovább kutatja azt az összefüggést, a melynek a fényforrás, a fény és a színes kép között fenn kell állania s így jutott lassanként a színképelemzés felfedezéséhez.

Térjünk vissza előbbi kísérletünkhöz. Tartsuk az üveghasábot vízszintesen, úgy hogy egyik éle fölül, egyik lapja alul legyen. A papírlapon nem látunk többé fehér kis korongot, hanem elnyúlt, színes sávot, melyen fölül vörös, azután sorjában narancssárga, sárga, zöld, kék és violaszínű részeket fogunk megkülönböztetni. Ha az üveghasábot élével lefelé fordítjuk, a színek sorrendje fel fog cserélődni. Ez a színes sáv a Nap színeképe vagy spektruma.

Hogyan keletkezik ez a színekép? A fény elmélete szerint az üveghasáb a Nap fényét szétszórta, felbontotta elemi részeire. Ez a szétszóródás vagy *diszperzió* onnét van, hogy a különböző színű fénysugarak csak a léghíjas térben (a csillagok közti térben) terjednek tova egyenlő sebességgel, míg egyéb anyagokban különböző sebességekkel haladnak. A csillagok közti térben a fénysugarak közös sebessége 300 000 km. másodpercenként. A fény a rezgéselmélet szerint a sugarak mentén tovaterjedő rendkívül szapora rezgések következménye. Hogy tulajdonképpen mi rezeg a fénysugárban, arra nézve nem szükséges magunknak egész határozott képet alkotnunk. A rugalmassági elmélet szerint egy képzelt anyag, az éter rugalmas rezgései keltik a fényt, az újabb elektromágneses elmélet szerint a fény gyorsan váltakozó elektromos és mágneses erők tovaterjedése.*) A rezgések külön-külön a fény terjedés-irányára merőleges síkban, de ebben mindenféle irányban történnek, melyeket *kereszt- vagy transzverzális* rezgéseknek szokás nevezni. Egy másodperc alatt bizonyos számú rezgés fog végbemenni, úgy mint pl. az inga egy óra alatt bizonyos számú lengéseket végez. Egy másodperc alatt a fénysugárban igen sok rezgés megyen végbe, a rezgésszám igen nagy. Ha a fényterjedés sebességét elosztjuk a rezgések másodpercenkénti számával, megkapjuk a fényhullám hosszúságát. Pontos mérésekkel a fizika meg tudta határozni a fény terjedéssebességét és a hullámhosszt és ki tudta számítani a rezgésszámot. Ezekből a mérésekből kitűnt, hogy a vörös fény rezgésszáma más, mint a zöld fényé, ezé ismét más, mint a kék fényé és így tovább. A hang is ily rezgéstünemény, csakhogy ennél maguk az

*) L. Zemplén Gy.: Az elektromosság és gyakorlati alkalmazása 229—247. l. Budapest, 1910. Kiadja a Kir. M. Term.-tud. Társulat.

anyag- (pl. levegő-) részecskék rezegnek és a terjedés sebessége sokkal kisebb, mint a fénynél, $\frac{1}{3}$ km. másodpercenként, a rezgések száma is sokkal csekélyebb és azonkívül a rezgések iránya is más, mint a fénynél, t. i. a hang terjedésének irányával összeesik és azért azt mondjuk, hogy a hanghullámok *hossz- vagy longitudinális* rezgések. Minél nagyobb valamely hang rezgésszáma, fülünk annál magasabbnak hallja. A mi a hangnál a hangmagasság, az a fénynél a szín. Mint minden hangnak más és más a rezgésszáma, úgy minden színnél is más és más a rezgésszám.

A fül több, egyszerre adott hangot meg tud különböztetni egymástól. De az üveghasábbal végzett kísérletünk bizonyítja, hogy a szem ilyen megkülönböztetésre képtelen; hiszen a fehérnek látszó napfényben tulajdonképpen sokféle szín van, melyeket a hasáb választott el egymástól. Az üveghasáb tehát szemünk számára elvégzi azt, a mit a fül magától is el tud végezni: szétbontotta a fényt elemi sugaraira.

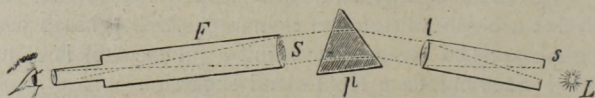
Mikor a fehér napfény, mely e szerint mindenféle színű fénynek a keveréke, az üveghasábhöz ér, akadálylyal találkozik, a fényhullámok megrövidülnek és pedig annál jobban, minél nagyobb a rezgésszámuk; ez okozza a sugarak szétválását. A rezgésszám maga változatlan marad, ellenben megváltozik a különböző fényhullámok sebessége.

Pontos mérések alapján tudjuk, hogy a vörös fény rezgésszáma a legkisebb, körülbelül 450 billió, míg az ibolya fényé a legnagyobb, 730 billió rezgés másodpercenként. Mivel az ibolyaszínű fény hullámai aránylag nagyobb mértékben megrövidülnek az üvegben, mint a vörös fényé, sebességük is kisebb lesz, hiszen a terjedésssebesség a rezgésszám és a hullámhossz szorzata. Az üvegben tehát a vörös fény valamivel gyorsabban terjed, mint az ibolyaszínű.

Eddig azt az összefüggést vizsgáltuk, mely a színek és az üveghasáb között áll fenn. Hogy a fényforrás természete

és a színek között minő összefüggés van, azt Kirchhoff és Bunsen szép fölfedezése óta tudjuk. Ez a fölfedezés a színekpelemzés, melynek segítségével valamely színekéből következtetést vonhatunk a fényforrás chemiai összetételére, hőmérsékletére és halmazállapotára.

Hogy a fényforrás chemiai természete mennyire módosíthatja a fényt, azt egyszerű kísérlettel lehet igazolni. Borszeszben oldjunk föl sót és az oldattal beitatott gyapotot gyujtsuk meg elsötétített szobában. Azt fogjuk tapasztalni, hogy a körülöttünk levő tárgyak teljesen más színt mutatnak, mint a napfénynél; az arcz színe sárgás-zöld, a vörös pecsétviasz nyomát sem mutatja a vörös színnek s így tovább. Ha pedig

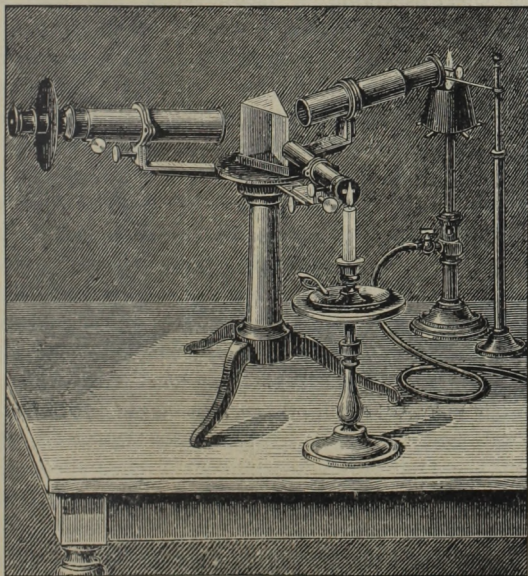


54. rajz. A spektroszkóp elve.

a borszesz sós oldatának lángjával alkalmas módon színeképet állítunk elő, akkor azt fogjuk látni, hogy ez a színekép teljesen különbözik attól, a melyet előbb a Nap fényével nyertünk. A színekép előállítására és megvizsgálására szolgál a spektroszkóp (54. rajz). L a fényforrás, s -nél van egy cső, az ú. n. kollimátor, mely egyik végén földött; a földélbe alkalmas módon szabályozható, hosszú, keskeny rést vágtak; a cső másik végén gyűjtőlencse van elhelyezve, mely a fénysugarakat a p üveghasábra veti. F távcső, mely arra való, hogy a színeképet a nagyítás nyújtotta előnyösebb föltételek mellett vizsgálhassuk meg.

Az 55. rajz laboratóriumi spektroszkópot mutat. A gázláng felé forduló cső a kollimátor. A gyertyaláng felé forduló cső

végén finom mérő-skála van, a melynek képe az üveghasábon történő teljes visszaverődés útján a kollimátorból jövő színképpel együtt jelenik meg a távcsőben a szemlélő előtt. Hogy két színképet egymással össze lehessen hasonlítani, a kollimá-



55. rajz. Laboratóriumi spektroszkóp.

toron a rés elé kis üveghasábot helyeznek, melynek egyik lapjára egy másik fényforrásból eredő fény ugyancsak teljes visszaverődés útján jut a kollimátorba, úgy hogy végül a távcsőben két színkép és a mikrométerskála egyszerre szemlélhető. A csillagászatban az egyik fényforrás valamely csillag

vagy üstökös, vagy a Nap s így tovább, melyeknek színképét ily módon összehasonlíthatjuk valamely földi anyag színképével. A csillagászatban használatos spektroszkópok sokszor nagyméretű és kissé összetettebb készülékek. A csillagászati spektroszkópot egy nagy távcső okulár-végére erősítik.

Ha a spektroszkópon át megfigyeljük egy izzó szilárd vagy folyékony test színképét, azt fogjuk tapasztalni, hogy színképében a vöröstől az ibolyáig ugyanazok a színek vannak jelen, mint abban a színképben, a melyet kollimátor és távcső nélkül első kísérletünk alkalmával a Napról nyertünk és azt is fogjuk tapasztalni, hogy a színek minden hézag nélkül sorakoznak egymás mellé, hogy a színkép folytonos. Bárminő chemiai összetételű, izzó állapotban levő, szilárd vagy folyékony test színképe folytonos és csak az egyes színek erősségében különbözik. Ebből következik a színképelemzés első elve, mely szerint valamely saját fénynyel bíró test, mely a spektroszkópban folytonos színképet ad okvetlenül szilárd vagy folyékony; hogy milyen chemiai elemek alkotják ezt a testet, azt nem lehet felismerni.

Teljesen másképpen viselkednek az izzó állapotban levő gőzök és gázok. A gázok színképe nem folytonos, hanem különálló sávokból vagy vonalakból áll. A gázok egyik csoportjánál — a melybe egyszerű elemek és vegyületek is tartoznak — a színkép széles sávokból áll, melyeknek rendesen a vörös felé eső széle élesebben határolt, másik szélük elmosódott. Más gázoknál a színkép vonalas; a színes vonalak keskenyek és mindkét szélükön élesen határoltak. Ezek a sávok és vonalak minden anyagnál mások, de egy és ugyanazon anyagnál mindig ugyanazok, úgy hogy a színképből fel lehet ismerni az anyagot, melytől a színkép származik. Ezekből a tapasztalatokból viszont következik a színképelemzés második elve: ha valamely világító test színképe sávokból vagy vonalakból áll, akkor az a test gázállapotban

van. A gáz kémiai minéműségét kétséget kizáró módon meg lehet állapítani a sávok vagy vonalak számából és elhelyezkedéséből.

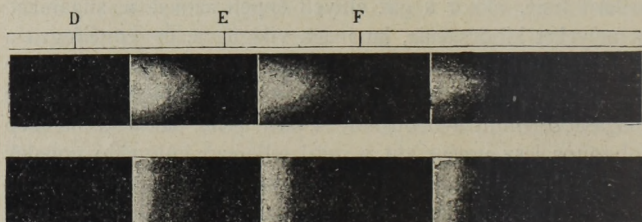
Azokat a színeképeket, a melyek egyenesen az izzó szilárd testtől vagy gáztól származnak, emissziós színeképeknek nevezzük.

De lehetséges az is, hogy valamely izzó szilárd testet bizonyos gáznak vagy gázoknak rétege veszi körül, úgy hogy a fénynek előbb ezen a burkolaton kell áthaladnia, mielőtt hozzánk jutna. Kirchhoff megállapította, hogy ha ennek a gáznak hőmérséklete alacsonyabb, mint az izzó szilárd testé, akkor a gáz elnyeli éppen azokat a sugarakat, a melyeket kibocsátana, ha maga világítana, és ennél fogva a színeképben a gázt jellemző színes vonalak helyén fekete vonalak fognak fellépni. Ha ellenben a gáz hőmérséklete magasabb, mint a beburkolt szilárd testé, akkor a színekép folytonos lesz ugyan, de a gázt jellemző különálló vonalak fényesebben fognak előtűnni. Ebből következik, hogy ha egy test folytonos színeképet mutat sötét vonalakkal, — úgynevezett abszorpcziós színeképet — akkor a test izzó szilárd vagy folyékony magból áll, mely nálánál alacsonyabb hőmérsékletű gázburkolattal van körülvéve. A gázburkolat kémiai természetét a sötét vonalakból kétséget kizáró módon meg lehet állapítani. Ha a folytonos színeképben egyes különálló, fényes vonalak lépnek fel, akkor az izzó szilárd magot egy nála magasabb hőmérsékletű gáz övezi. A gáz természetét a fényes vonalak helyzetéből és számából lehet megállapítani.

Az összetett gázoknak is megvan a maguk jellemző színeképük, ha annál a hőmérsékletnél, a melynél világítanak, nem bomlottak szét elemi alkatrészeikre, ha nincsenek *disszocziálva*. Ha ellenben a gáz disszocziált állapotban van, akkor minden alkotórész a maga külön színeképét mutatja.

Ha egy világító test színeképében a fényes vagy sötét vonalak szélesek és elmosódottak, akkor az izzó szilárd magot körülvevő gágréteg vagy rendkívül magas hőmérsékletű, vagy igen magas nyomás alatt áll, vagy pedig a gágréteg igen vastag, s az is lehetséges, hogy ezen okok közül kettő vagy valamennyi egyszerre működik közre.

Mindezeket az elveket vagy törvényeket Kirchhoff úgy kísérleti, mint elméleti úton szigorúan igazolta. Lássuk most, hogy ezen elvek alkalmazásával mit tudtak meg az asztrofizikusok az üstökösökről.



56. rajz. A Winnecke-féle (1868 II.) üstökös színeképe (felül), összehasonlítva a szénhidrogének színeképével (alul).

Az első üstökös-színeképet Donati figyelte meg, nem sokára a színeképlelemzés felfedezése után 1864-ben. Ez a színekép egy kevésbé fényes folytonos részből és három fényesebb széles sávból állott. Hasonló megfigyeléseket tettek Huggins és Secchi. A három sáv természetét Huggins ismerte fel 1868-ban: a szénhidrogének gázainak színeképe ugyanezt a három sávot mutatja (56. rajz).

Későbbi folytonos észlelések kimutatták, hogy az üstökösök és a szénhidrogének színeképei között vannak egyes kis különbségek. A szénhidrogének a szén (C) és a hidrogén

(H) vegyületei. Ilyenek pl. a metán vagy mocsárlég (CH_4), az etán (C_2H_6), a világítógáz különböző alkotórészei, a paraffinok, olaj, petroleum, zsírok stb. Mindezeknek színekpe látható részében 5 sávból áll, t. i. egy-egy vörös, sárga, zöld, kék és ibolya színű sávból. A sávok a vörös felé élesen vannak határolva, az ibolya felé elmosódottak, ha az elemző üveghasáb diszperziója csekély és a kollimátor-rés tág. Erősebb diszperzió mellett és keskenyebb réssel ezek a sávok egyes vonalakra oszlanak. Az üstökösöknél, gyenge fényük miatt, rendesen csak tág rést és gyenge diszperziót lehetett alkalmazni.

A színekpe egyes vonalait a megfelelő szín hullámhosszával szokás jelölni milliommódrész mm.-ben ($\mu\mu$) vagy ennek tizedeiben, Ångström-egységekben (\AA) kifejezve.

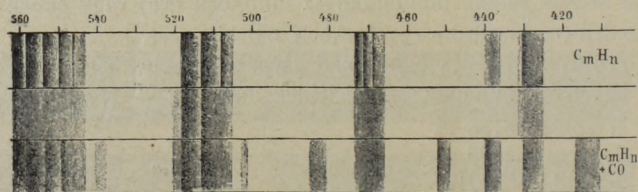
A szénhidrogének 5 jellemző sávjában az éles határoknak a következő hullámhosszak felelnek meg:

1. vörös : 6188 \AA
2. sárga : 5635 "
3. zöld : 5165 "
4. kék : 4737 "
5. viola : 4312 "

Az üstökösök színekpében az 1. és 5. vonalat még nem sikerült megtalálni; ezek a vonalak a laboratóriumi színekpében is gyöngék és a szénhidrogén-színekpe gyöngítésével teljesen el is tűnnek. Legvilágosabb a zöld sáv, melyben két jellemző zöld vonal van és melyeknek jelenlétét az üstökös-színekpében Hasselberg állapította meg, a mi legszebben bizonyítja a szénhidrogének és az üstökösök színekpének azonosságát. Azok a feltételek, a melyek között a laboratóriumban a színekpe létrejön, bizonyára nem egyeznek az üstökösben uralkodó feltételekkel. A Bunsen-égővel vagy elektromos ívlámpa segítségével előállított szénhidrogén-színekpe a vörös részben a legerősebb, míg az üstökösöknél az ibolya felé eső rész a legfényesebb.

Vogel, a potsdami asztrofizikai obszervatórium nemrég elhúnyt jeles igazgatója szénoxidot (CO) kevert a szénhidrogének közé, miáltal oly színekpet nyert, mely jobban egyezik az üstökös-színekkel. Az összehasonlítást az 57. rajz mutatja. Felül a tiszta szénhidrogén, középen az üstökös, alul a szénoxiddal kevert szénhidrogén színekpe látható.

Még meglepőbb megegyezést találunk, ha meteoroköveket hevítünk egy edényben, mely Geissler-csővel közlekedik. A meteorokövekből gázok válnak ki, melyek leginkább szénhidrogénekből és szénoxidból állanak. Ha most a Geissler-



57. rajz. Üstökös-színekp (középen) összehasonlítása tiszta (felül) és szénoxiddal kevert (alul) szénhidrogének színekpével.

csövön át elektromos kisütéseket létesítünk, a csőben levő gázok világítókká válnak. Az így nyert színekp az üstökösök színekpével nagy hasonlatosságot mutat.

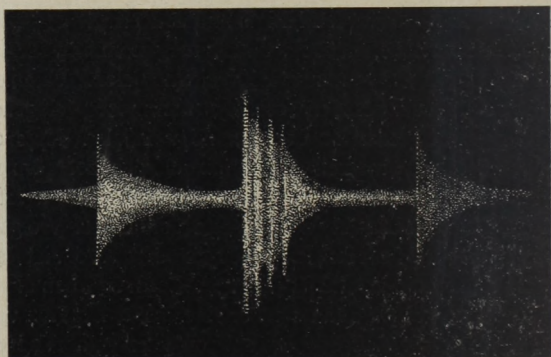
Még nagyobb hasonlatosságot ért el Hasselberg az által, hogy elektródnélküli csöveket használt, melyeknek végeire sztaníolt ragasztott. A csőben levő felette ritkított gáz így is világítóvá vált, a felmelegedés pedig igen csekélynek bizonyult, míg a színekp úgyszólván teljesen egyezett az üstökösök közönséges színekpével. E szerint az üstökösökben bizonyosan jelen vannak az említett gázok, még pedig ritkított állapotban; fényük nem hőokozta izzásból, hanem

elektromos hatások következtében jön létre, hőmérsékletük pedig alacsony.

Az üstökösökben más gázok jelenlétét is sikerült kimutatni, pl. a cziángázét (*CN*). Deslandres, a meudoni asztrofizikai obszervatórium jeles igazgatója, közvetlen összehasonlítás útján a cziánnak következő jellemző vonalait találta az 1910 *a*-üstökös színeképében: $421\cdot6 \mu\mu$, $419\cdot7 \mu\mu$, $386\cdot7 \mu\mu$. Frost és Parkhurst a Halley-üstökösben is megállapították a cziángázét (*CN*) jellemző vonalakat. Ha a színeképelemzés minden kétségen felül ki is mutatja ennek a gáznak a jelenlétét némely üstökösben, abból még nem következik, hogy ez a gáz ott nagy mennyiségben van jelen. Valamely anyagból szinte elenyészően csekély mennyiség elegendő ahhoz, hogy színeképében az őt jellemző vonalak fellépjenek.

Oly üstökösöknél, melyek a Naphoz elég közel jönnek, néha más elemeknek megfelelő vonalak is fellépnek a színeképben. Például az 1882-iki Wells-féle üstökösnél Vogel, Dunér és Bredichin azt a fényes sárga vonalat észlelték, mely a nátrium színeképét jellemzi. Legerősebben akkor lépett fel ez a vonal, mikor az üstökös elérte a Naphoz való legnagyobb közelségét. Minél erősebben látszott a nátrium-vonal, annál jobban gyöngültek a szénhidrogén-színekép sávjai. Teljesen hasonló jelenséget a laboratóriumban is elő lehet állítani. Ha a Geissler-csőben a szénhidráton kívül kevés tiszta nátrium is jelen van, akkor a kisülés alkalmával keletkező színeképben a szénhidrogének sávjai majdnem teljesen eltűnnek az erősen fellépő nátriumvonal mellett. Ha ellenben Bunsen-égővel állítjuk elő a színeképet, akkor mindkét anyag színeképe egyenlő erősen mutatkozik. Ez a kísérlet talán arra utal, hogy az üstökösök saját fénye elektromos okokra, különösen pedig diszruptív kisülésekre vezetendő vissza. Ha egy vezetőben, melynek nincsenek sem hegyes részei, sem sarkai, mindig több és több elektromosságot halmozunk fel,

akkor az elektrosztatikus feszültség oly magas fokot érhet el, hogy a felület egyes pontjain a levegő szigetelőképessége már elégtelennek bizonyul. Az elektromosság sisteregve hagyja el a vezetőt és a körülötte levő közegbe ömlik. Sötétben kévealakú, vöröses fényjelenségeket láthatunk a vezető felületén, melyek némelykor halványkék fénybe csapnak át. Az efféle kisüléseket nevezzük diszruptiveknek.

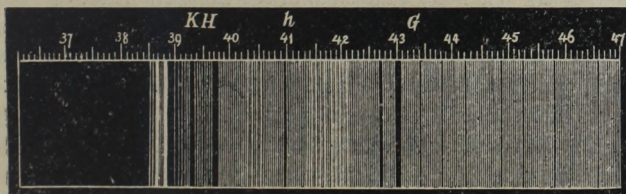


58. rajz. Az 1874. III. üstökös színeképe középen a Nap folytonos színeképével.

Hasonló jelenséget lehetett tapasztalni az 1882-iki nagy üstökösnél. Említettük, hogy ez az égitest perihéliumkor mily közel jött a Naphoz. Copeland és Lohse röviddel a perihélium-átmenet után a nátrium vonalán kívül 5 más fényes vonalat figyeltek meg a színekép sárga és zöld részében, melyek a vas vonalainak feleltek meg. A Naphoz való rendkívül nagy közelség ez esetben talán több mint elegendő volt ahhoz, hogy a vasat gőzzé változtassa. A meteorkövek

főalkotórésze a vas és az említett megfigyelés Hasselberg kísérleteivel együtt arra utal, hogy üstökösök és meteorok között valami rokonság van.

Említettük, hogy az üstökösök színképében a szénhidrogének sávjain kívül egy gyöngye folytonos színekép is fellép (58. rajz). Ez a folytonos színekép — legalább nagy részben — a Nap visszavert fényétől származik. A Nap színeképében, ha eléggé keskeny réssel állítjuk elő, fekete elnyelés-vonalak, az úgynevezett Fraunhofer-féle vonalak láthatók. Ha tehát az üstökösöknél fellépő folytonos színekép csakugyan



59. rajz. Az 1881. II. üstökös színeképe a Fraunhofer-féle vonalakkal.
Huggins fényképe.

a Naptól ered, benne is mutatkoznia kell a Fraunhofer-féle fekete vonalaknak. Csakhogy az üstökösök legnagyobb része igen gyenge fényű, tehát a spektroszkópikus megfigyelésüknél a kollimátorrést tágra kell nyitni. Ennek pedig még a Nap színeképénél is az a következtetése, hogy a színekép nem oly éles és a Fraunhofer-féle vonalak eltűnnek. Huggins az 1881 II. üstökösönél mégis észlelt néhány ily erősebb vonalat (59. rajz) és a színeképet le is fotografálta. Fraunhofer-féle vonalakat ez üstökösönél Konkoly-Thege is észlelt. Hazánkban Konkoly-Thegén kívül még Gothard J., báró Harkányi és Kövesligethy művelték a kül-

földtől is a legnagyobb elismeréssel jutalmazott eredménnyel a csillagászat ezen érdekes és fontos ágát, a spektroszkópiát.

Hogy Nicol-hasábbal is ki lehet mutatni azt, hogy az üstökösök fénye részben a Nap visszavert fénye, azt már említettük.

Doppler elve. A spektroszkóppal nemcsak azt lehet megállapítani, hogy valamely saját fénynyel világító égitesten minő anyagok vannak jelen, hogy milyen a hőmérsékletük és halmazállapotuk, hanem azt is, hogy az égitest mekkora sebességgel közeledik felénk, vagy távolodik tőlünk a látásvonal irányában.

Tegyük fel, hogy változatlanul egy helyben maradva szemlélünk egy, tőlünk bizonyos távolságban szilárdan megerősített fényforrást, pl. elektromos lámpát. Egy másodperc alatt a fényforrásból bizonyos számú fényhullám indul ki; bizonyos idő múlva az első, és egy másodperc múlva az utolsó a fényforrástól kibocsátott hullám fogja érni szemünket. Tegyük most fel, hogy mialatt mi továbbra is egy helyben maradunk, a fényforrás gyorsan távolodik tőlünk. Az a fényhullám, a mely akkor indult el a fényforrásból, a mikor az még előbbi helyén van, rövidebb utat fog megtenni, mint az a hullám, a mely a fényforrást akkor hagyja el, a mikor az mozgása közben egy másodperc alatt tőlünk távolabbra került. Ez a hullám hosszabb utat fog tehát megtenni, míg szemünkhöz ér és ennél fogva későbbben talál reánk, mint ha a fényforrás egy helyben maradt volna. Míg a fényforrásból egy másodperc alatt most is csak annyi hullám indult ki, mint a nyugalás esetében, addig szemünkbe egy másodperc leforgása alatt nem érkezett meg valamennyi hullám, hiszen néhány a hosszabb út miatt csak későbbben érkezhetik. A mit mi észlelhetünk, az az egy másodperc alatt érkező hullámok száma, a rezgésszám. A fényforrás távolodásának eredménye tehát a rezgésszám csökkenése. De ha a rezgésszám kiseb-

bedik, akkor a hullámhossz, mely a fényterjedés sebességének és a rezgésszámnak a hányadosa, okvetlenül nagyobbodik. A legkisebb látható hullámok az ibolya, a legnagyobbak a vörös fény hullámai. Ha egyszínű (monochromatikus) fényforrással volna dolgunk, a nyugvó állapotban ibolyaszínűnek látszó fényforrás, ha elég nagy sebességgel távolodik tőlünk, kékés színűnek fog látszani, a zöld fényforrás sárgába, a sárga pedig vöröses színbe fog átmenni.

De ez nemcsak a látható sugarakkal történik. A látható fényhullámokon kívül ugyanis a fényforrásból más hullámok is kiindulnak, melyeket szemünk nem érez meg, de melyeknek létezését a színeképben ki lehet mutatni. Ha a színeképet lefotografáljuk, a fotográfia még az ibolyán túl is folytatódik. Szemünk a színeképnek ezt a részét nem látja, de annál erősebben érzi a fotográflemez. Ezeket a kémiai-lag erősen ható sugarakat nevezzük ibolyántúli sugaraknak. Hullámhosszuk az ibolyától kezdve fokozatosan kisebbedik. Ha érzékeny hőmérő-műszert, pl. bolométert*) vezetünk végig a színeképen, akkor a műszer az ibolyától kezdve a vörös felé folytonos hőemelkedést fog kimutatni. A látható színeképnek a vörös részszel végeszakad. A bolométer azonban a vörösön túl is mutat még hőemelkedést; a hőemelkedés a vörösön túl éri el a legnagyobb magasságot. Azok a láthatatlan sugarak, a melyeknek létezését így kimutathatjuk, a vörösöninnen vagy ultravörös sugarak.

Mikor egy fehér fényforrás gyorsan távolodik tőlünk, valamennyi fényhullám megnyúlik, tehát a vörös fényhullámai láthatatlan ultravörös, a láthatatlan ultraviola sugarak pedig a látható ibolya fényhullámaivá változnak. A *látható* fény tehát

*) A bolométer platinaszalag, mely a reaeső sugárzás folytán fölmelegedve, elektromos ellenállását megváltoztatja. Az ellenállás ezen változása szolgál a reaeső sugárzás mértékéül.

összességében változatlanul megmarad, a fényérzet nem változik.

De mi történnék, hogy ha a spektroszkópban egyszerre állítanám elő egy tölem gyorsan távolodó fényforrásnak, pl. valamely égitestnek és egy nyugvó fényforrásnak, pl. a Bunsen-égőben eléggő nátriumnak a színeképét? Tegyük fel, hogy a csillag vagy üstökös színeképében is fellép a nátrium jellemző sárga vonala. Ha az üstökös a spektroszkóphoz képest szintén nyugalomban volna, nátrium-vonalának össze kellene esnie a Bunsen-égővel előállított sárga nátrium-vonallal; de ha távolodik tőlünk, a nátrium-vonal sárga színe megmarad ugyan, de a vonal kissé eltolódik a színekép vörös vége felé, s ha az égitest közeledik, akkor a színekép ibolyaszínű része felé húzódik. Minél nagyobb sebességgel távolodik vagy közeledik az üstökös, annál nagyobb ez az eltolódás; ennek nagyságából pedig ki lehet számítani ezt a sebességet.

Az 1910 *a.* üstökös színeképvonalainak eltolódásából meg lehetett állapítani, hogy január végén 61 km.-rel távolodott másodpercenként a Földtől. Mivel az üstökös feje elmosódott alakjánál fogva a távcsövet nem lehetett pontosan beállítani, ez az adat a későbbi pályameghatározásnál becses szolgálatakat teljesíthet.

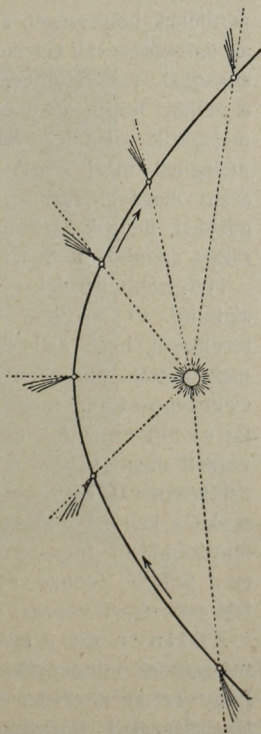
Az üstökösök fényességéről szólva, többször említettük, hogy ez az egyiknél olyan volt, mint egy nyolczadrendű csillagé, másiknál olyan, mint egy tizenkettedrendű csillagé s így tovább. Az üstökösök és a többi égitestek fényességét ú. n. fotométerrel mérik. A fotométria a színeképelemzés után az asztrofizika legfontosabb segédeszköze. Sokféle fotométer van. Leírásukba nem bocsátkozhatunk, csak megemlítjük, hogy valamennyinél a főelv szemünk azon fiziológiai tulajdonságán alapszik, mely szerint ez két fényforrás fényességéről csak azt tudja valamennyire pontosan megbecsülni, ha e fényességek egyenlők-e avagy különbözők. Fotométer-

rel a fényforrások erősségét pontosan meg lehet mérni és szám szerint kifejezni. Az üstökösök fényességének változásairól így szerezhetünk megbízhatóbb ismereteket, mintha pusztá becslésekre szorítkoznánk. Fotometrálással a Konkoly-alapítványú ógyallai asztrofizikai intézet foglalkozik.

Az üstökösök csóvái.

Kepler a mi Halley-üstökösünk 1607-iki megjelenéséről azt mondja: „Ha egy átlátszó gömb a világtérben lebeg s a Nap egyenesvonalú sugarai a gömbre esnek és átjárnak rajta, akkor én azt tartom, hogy ezek a sugarak az üstökös-gömb anyagából valamit magukkal ragadnak és az üstököst végre meg is semmisítik. Így keletkezik az üstökösök csóvája, mely mindig elfordul a Naptól (60. rajz). Mert más-kép lehetetlen, hogy a napsugarak a tiszta égi levegőben az üstökös mögött láthatókká váljanak, hacsak nincs valami anyag, melyet megvilágítanak, mint nálunk is a napfény csak akkor látható, ha van valami, a mire ráesik, mint pl. falakra, földre, felhőkre, ködre vagy sűrű levegőre.“

Kepler-nek ez a magyarázata nagyon tetszetős, bár nem



60. rajz. Az üstökös csóvája mindig elfordul a Naptól.

tudjuk meg belőle, hogy miképpen tudja a fény az üstökös anyagát magával ragadni. Hogy ez csakugyan lehetséges, azt a legújabb korban sikerült kimutatni; Kepler majdnem három századdal előbb megsejtette a valóságot.

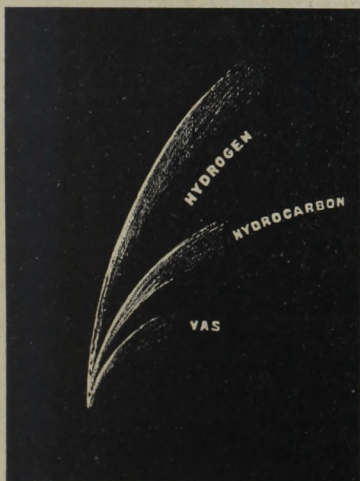
Newton, ki azt hitte, hogy a fény kis testecskékből áll, melyeket a fényforrás kilövel, nem tagadhatta Kepler nézetének helyességét, azonban mégis más föltevést alkotott az üstökös csóvák keletkezéséről. Szerinte a világtér igen finom anyaggal van kitöltve, melyen a Nap sugarai áthatolnak a nélkül, hogy megmelegítenék. Az üstökös ellenben fölmelegszik, miáltal áramlás áll elő, hasonlóan valamely megmelegített földi tárgyról fölszálló levegőáramlathoz. Ez az áram magával ragadja az üstökösben levő gőzöket vagy gázokat, melyek azután a csóvát alkotják. Newton magyarázata azonban tarthatatlan.

Helyesebb nézetek csak a múlt század elején kezdtek kialakulni. Olbers a csóva anyagának azt a szembeötlő törekvését, hogy az üstököstől és a Naptól eltávolozzék, valamely *taszító* vagy *repulzív* erőnek tulajdonítja és rámutat az elektromosságra, mely ilyenféle erők gyakorlására képes. Bessel-ben, mint már említettük, a Halley-üstökösön végzett megfigyelései érlelték azt a meggyőződést, hogy az üstökös csóvák képzésénél repulzív vagy poláris (elektromos) erőknek kell közreműködniök. Az üstökös magjából kiinduló fényáramlások ingaszerű mozgását azzal magyarázta, hogy ez a poláris (vonzó és taszító) erő az üstökösnek a Nap felé eső részét vonzza, ellentett részeit pedig taszítja.

Zöllner ezt a taszító erőt határozottan elektromos természetűnek minősítette. Azonban Bredichin-é az érdem, hogy ezt az elméletet teljesen kidolgozta s a matematikai tárgyalásnak is hozzáférhetővé tette.

Bredichin azt találta, hogy sokféleségük és különös alakjaik mellett is az üstökösök csóvái három fő csoportba

(típusba) foglalhatók össze (61. rajz) s hogy minden típus csakis a taszító erő nagyságától függ. Ha a Newton-féle erőt az üstökőspálya egy pontjában egyenlőnek vesszük az egységgel, akkor a taszító erő ebben a pontban az első típusnál 18-szor akkora, mint a Newton-féle erő, a második típusnál 2·5 és 0·5 között ingadozik (középértékben 1·1),



61. rajz. Az üstökös-csóvák Bredichin-féle típusai.

a harmadik típusnál a taszítóerő már igen csekély és 0·3—0·1 között fekszik. Megjegyezzük, hogy az egységgel vett Newton-féle erő az itteni értelemben a távolság négyzetével fordított arányban folyton változik és teljesen hasonló módon változik a taszító erő is, úgy hogy a két erő közötti viszony állandó marad.

Az első típusnál az üstökös fejének gázállapotú részecskéi nagy erővel taszítatnak a Nappal ellenkező irányba. A csóva vékony és egyenes, de nem nagyon fényes. (62. rajz). Zöllner mutatta ki, hogy az elektromos taszítás a gázok molekuláira molekula-súlyukkal fordított viszonyban hat. A Napnak bizonyosan van elektrosztatikus töltése. Ennek a töltésnek Zöllner számításai szerint nem is kell valami erősnek lennie. E szerint a taszító erő nem más, mint a Napból kiinduló elektromos taszítás. Az üstökös-csóvák magyarázata ezzel vissza van vezetve a bodzabélgolyócska és a megdörzsölt pecsétviasz elemi kísérletére. Ha kiszámítjuk a különböző típusok taszító erőinek viszonyát az első típus taszító erejéhez, akkor oly számokat kapunk, melyek igen közel megegyeznek bizonyos gázoknak a hidrogénhez mint egy-séghez viszonyított molekula-súlyával. Az első típusnál ez a viszony $18:18=1$; a hidrogén atomsúlya is $=1$. Az első típusú üstökös-csóvák Bredichin szerint hidrogénből állanak.

A második típusnál a taszító erők viszonya $18:2\cdot2=7$ és $18:0\cdot5=36$ között fekszik. A mocsárgáz vagy metán relatív molekula-súlya $=8$, az etiléné 13 , a nitrogéné 14 , a nátriumé 23 , a cziánhidrogéné 27 . Ezek az anyagok alkotják a második típusú csóvákat.

A harmadik típusnál a taszító erők viszonya 56 és 200 között fekszik. A vas atomsúlya 56 , a rézé 64 , az ezüsté 108 , az aranyé 197 ; ezek az anyagok alkotják a harmadik típusú üstökös-csóvákat.

A második típus csóvái a legfeltűnőbbek, szélesek, nagyon fényesek, de rendesen rövidebbek, mint az első típus csóvái. A harmadik típus csóvái rövidek és gyöngye fényűek; csak nagy üstökösöknél fordulnak elő más típusú csóvakkal együtt. Némely üstökösnél mind a három csóva fellép.

Hogy a fény és az elektromosság között benső összefüggés



62. rajz. Az 1863. V., 1873. IV. és 1861. I. üstökösök. Fejükön és teljesen szabályos csóvájukon keresztül gyengítetlen fénynyel látszanak a csillagok.

van, azt már Faraday, a híres fizikus sejtette. Ő vette észre először, hogy a poláros fénysugár polározás-síkja mágneses térben elfordul és ekkor kimondta, hogy „a fénysugárzást úgy lehet felfogni, mint az erővonalak gyors rezgését”. Később Maxwell, ugyancsak nagynevű angol fizikus megalkotta azt a szép elméletet, a mely a fényjelenségek a mágneses és elektromos tűnemények között levő összefüggést tisztán és világosan feltárta. Új elméletének igazolására Maxwell még csak kevés tapasztalati tényre támaszkodhatott. Ma ezt az elméletet, a fény elektromágneses elméletét számos tapasztalat és kísérlet igazolja.*) A régiebb fényrezgéselméletben nehezen volt érthető az, hogy miért transzverzálisok a rezgések, az új elméletből a keresztrezgések szükségszerűen következnek. Az új elmélet egy érdekes és fontos következtetésre vezetett, melyet már Maxwell vont le belőle 1873-ban. Ez a fontos következtetés az, hogy *a fényhullámok — mint minden elektromos hullám — igen csekély, de meghatározható nyomást gyakorolnak arra a felületre, melyet érnek.* Bartoli 1876-ban kimutatta, hogy ez mindennemű sugárzásra nézve áll. Maxwell és Bartoli ezt a nyomást kiszámították, Lebedew, Hull és Nichols pedig minden kétséget kizáró módon kísérletileg is bebizonyították (1900).

Maxwell szerint a fényhullámok terjedésük irányában oly nyomást gyakorolnak, mely minden helyen épp akkora, mint az ott, a térfogategységben foglalt sugárzásbeli energia. A nap sugárzása oly felületre, mely minden reáeső sugárzást elnyel (fekete), négyzetcentiméterenként 0.4 milligramm nyomóerőt gyakorol; a tökéletesen tükröző felületre gyakorolt

*) Bővebb felvilágosítást talál az olvasó Zemplén Gy.: „Az elektromosság és gyakorlati alkalmazása” című, társulatunk kiadásában megjelent könyvében.

nyomás kétszer akkora. A Föld megvilágított felére e szerint a Nap fénye mintegy 5 millió kg.-nyi nyomást gyakorolna. Az előbb említett fizikusok kiderítették azt a viszonyt is, mely a gravitáció és a sugárzás nyomása között fennáll. A gravitáció vagy Newton-féle erő függ a test tömegétől és vele egyenesen arányos és ennél fogva annál kisebb, minél kisebb a tömeg, tehát ha csupán oly anyagokra szorítkozunk, a melyeknek sűrűségük ugyanaz, arányos azok térfogatával. A besugárzott testet gömbalakúnak gondolva, a térfogat a sugár harmadik hatványával fogy és épp ebben az arányban fogy a gravitáció is; a sugárnyomás a felületre hat és vele arányos; de a gömb felülete a sugár négyzetével fogy és ugyanily arányban csökken a sugárnyomás. Ennél fogva a gravitáció gyorsabban fogy, mint a sugárnyomás, midőn a gömb mindinkább kisebbedik.

Igen nagy gömbnél, a minő pl. a Föld, a sugárnyomás a gravitációhoz képest elenyésző csekély. Ha azonban mindig kisebb és kisebb gömböket tekintünk, akkor, mivel a gravitáció gyorsabban csökken, mint a sugárnyomás, el kell érniünk olyan méretű gömbhöz, melynél gravitáció és sugárnyomás egyenlő erejű. Ilyen testecske a Nap sem nem vonz, sem nem taszít. Ez akkor következik be, ha az egységnyi sűrűségű testecske átmérője két és félszer akkora, mint az őt érő fény hullámhossza. A sárga fény hullámhossza pl. 0.6μ , tehát a sárga fény nyomása és a gravitáció ellensúlyozzák egymást az oly testecskenél, melynek átmérője $2\frac{1}{2} \times 0.6 = 1.5 \mu$. Ha a testecske még kisebb, akkor a sugárnyomás felülmúlja a gravitációt, a testecske a fény nyomása a Naptól eltaszítja. Ennek a taszításnak azonban Schwarzschild vizsgálatai szerint van felső határa, maximuma. A sugárnyomás tetőpontját éri, mikor a sugár nyomása 18-szor nagyobb a gravitációnál. A testecske átmérője ekkor a fény hullámhosszának egy harmadrésze, példánkban 0.2 mikron. Ha a

testecske átmérője még ezentúl is kisebbedik, akkor, mint *Schwarzschild* a fényelhajlás tünetényeiből kimutatta, a sugárnyomás ismét csökken és ha az átmérő 0.07 mikronra süllyed, a sugárnyomás ismét egyenlő a gravitációval, míg azontúl már a gravitáció kerekedik felül.

A Napsugárzásban *Langley* mérései szerint legerősebbek az 1μ hosszúságú sugarak. Az előbbiek szerint a legnagyobb testecske, melyre az ily sugárzás nyomásának még hatása van, 2.5μ , a legkisebb pedig 0.07μ .

A sugár nyomása tehát csak ebben a kis közben lehet nagyobb a gravitációnál, azaz taszíthat el bizonyos kicsiny anyagrészecskéket a *Newton*-féle erővel ellentett irányban.

Mindazonáltal *Arrhenius* annak a meggyőződésének adott kifejezést, hogy az üstökösök csóvái nem elektromos taszítás folytán jönnek létre, mint azt *Bredichin* kifejtette, hanem a sugárnyomásnak köszönik eredetüket.

Kinetikai gázelméleti megfontolások alapján ki lehet számítani az elemi gázok molekuláinak átmérőjét; az eredmények 0.0001 és 0.0002μ között ingadoznak; tehát még a legnagyobb gázmolekulák is sokszorta kisebbek azoknál a testcskéknél, a melyekre a sugárnyomás még hatással lehet s a melyek közül a legkisebb 0.07 mikron átmérővel bír.

Bredichin elmélete szerint az elektromos erők a gáz molekuláit taszítják a csóvába, *Arrhenius* szerint pedig sokkal nagyobb anyagrészecskék kerülnek bele, melyek persze nincsenek gázállapotban. A két elmélet nem mond ellent egymásnak, sőt mindegyik helyesen megmagyarázza a csóvaképződésnek egy-egy részét. Mint az utolsó fejezetben látni fogjuk, az üstökösöket mindenféle nagyságú meteorkövek és kövecskék halmazának kell tekintenünk. A sugárnyomás ezek közül az igen kicsiny, porszemecske nagyságú meteorkövekre foghatni. A mint ez a meteorhalmaz közeledik a Naphoz, a felmelegedés következtében gázok szabadulnak ki a meteor-

kövekből (lásd Hasselberg kísérletét a 146. lapon) és ezekre a gázokra nézve érvényes a Bredichin-féle elmélet.

Az Arrhenius-féle elmélet, ha kizárólagosan alkalmazzuk, nehézségekbe ütközik, midőn meg kellene magyaráznia azt a nagy ugrást, a mely az első és második típusú csóvák között mutatkozik; a Bredichin-féle elméletnek ellenben ez a különbség szükségszerű következménye.

Goldstein-nek csősugarakkal sikerült oly fényjelenségeket előállítani, a melyek az üstökösök csóvaival feltűnő hasonlatosságot mutatnak, Boys pedig a csóvaképződést a rádium α sugaraival hozta kapcsolatba, különben teljesen megtartva Bredichin elméletét. Némely jelenséget csakugyan ily úton is meg lehet magyarázni. Legvalószínűbb azonban az, hogy az előbb felsorolt erők együttesen lépnek fel és hatnak közre a csóva képződésénél.

Mindezek az elméletek nagy lépéssel vitték előbbre az üstökös-csóvákról való ismereteinket. Nem lehetne állítani, hogy a csóváknál észlelt változatos tünetmények mind véglegesen magyarázatra találtak; de nagy részük összhangba volt hozható a fizika legújabb eredményeivel. Már nehezebb a csóvákban sokszor fellépő rendellenes fénytünetmények magyarázata. Ily rendellenes csóvákat az előzőekben már többet bemutatunk, de rendkívüli érdekességük miatt nem mulaszthatjuk el még kettőnek a képét ide csatolni (63. és 64. rajz). A 72. rajzon látható üstökös a Nap felé fordított csóvát is mutatott.

Az üstökösök saját fénye. Még el kell mondanunk azt, hogy miként válik világítóvá az üstökös és az ő csóvája. Hogy az üstökös fényének egy része a Nap visszavert fénye, azt már elmondtuk. A csóva fényének egy része is visszavert napfény. Az üstökösnek és a csóvának van azonban saját fénye is. Ha az üstökös csak meteorkövekből állana, akkor saját fénye csak úgy lehetne, ha a meteorkövek és az őket körülvevő gázok *hőhatások* folytán izzó állapotba jönnének.



63. rajz. Az 1893. II. üstökös jul. 13-án.

Az üstökösök csak ritkán közelítik meg annyira a Napot, hogy ekkora hőhatás létrejöhetne. Akkor is csak a könnyen olvadó nátrium izzása volt kimutatható s egy esetben a vasé.

A Napon a folytonos óriási kitörések következtében nagy elektromosság-feszültségkülönbségek lépnek fel. A beforrasztott üvegcsőben, ha a ritkítás 0.01 mm. alatt van, úgynevezett katódsugarak keletkeznek, melyek gyöngye kékes fénynyel világítanak s egyenes irányban terjednek tova. A Napot körülvevő s elegendő távolságban levő gázrétegekben, melyek eléggé ritkított állapotban vannak, feszültségkiegyenlítődések (kisülések) folytán szintén ily katódsugarak keletkeznek. A katódsugarak a Naptól a világter minden irányába szétsugároznak. Thomson J. J., Lenard és mások kísérletekkel igazolták, hogy a katódsugarak úgy viselkednek, mint mozgó tömegek, a miből kis részecskéknek, az elektronoknak létezésére következtettek. Ha ezek a katódsugarak vagy elektronok az üstököst érik, ott természetüknek megfelelően különböző hatásokat fognak kelteni. A magnézit pl., melynek jelenlétét a meteorkövekben kimutatták, erősen foszforeszkál a katódsugarak hatása alatt, más anyagok egész izzásig felmelegednek, gázok világítókká válnak. A katódsugarak ritkább gázokban jobban terjednek, mint sűrűkben, legjobban — Lenard kísérletei szerint — a léghíjas térben. A katódsugarak okozzák a Föld légkörének felsőbb rétegeiben az úgynevezett sarki fényt is; tőlük ered az üstökösöket körülvevő rendkívül ritkás gáz és a még ritkítottabb állapotban levő csóva fénye. A katódsugarakkal így számos, az üstökösökön végbemenő tűnemény egyszerű magyarázatot nyer.

Hogy ezek után mit kell tartanunk egy üstökös csóvájával való „összeütközésről“, most már könnyen kitalálható. A sarki fényhez hasonló fénytűnemények, a mágnesű erősebb ingadozásai, esetleg telegráf- vagy telefonzavarok, ennyit okozhat az üstökös csóva, mikor a Földdel „összeütközik“.



64. rajz. A Swift-féle üstökös.

Az üstökösök és a meteorrajok.

A hullócsillagok és pályáik. Tiszta, holdvilágtalan éjszeleken sokszor lehet látni, mint surran végig az égbolton egy fénylő, tüzes csillag, némelykor világító uszályt hagyva maga után és épp oly hirtelen eltűnve, mint a milyen hirtelen feltűnt. Ezekkel a „hullócsillagokkal” sokáig keveset törődtek, épp úgy tisztán légköri tűneményeknek tartották őket, mint az üstökösöket. Előfordul, hogy ily hullócsillag nagyobb fényes gömbként tűnik fel, mely tüzes ragyogásával az egész égboltot bevilágítja; némelykor ez a tűzgömb a Föld felé való estében dörögve szétrobban; sokszor meg is találták a leesett darabokat a földrehullott, különböző nagyságú kövek alakjában. Ezek a kövek többnyire vasat tartalmaznak és *meteorok* neve alatt ismeretesek. Ily meteorok nappal is esnek le a Földre. Ilyen, az „égből lehullott kövekről” már a legrégebbi írott feljegyzések is megemlékeznek. A régebbi idők filozófusai előtt ezek a meteorok titokzatos rejtélyek voltak; legtöbbször egyszerűen letagadták a tűnemény valódiságát, későbbben pedig az a vélemény kapott lábra, hogy ezeket a meteorokat a Hold tűzhányó-hegyei lökik a Földre. A gondolkozók előtt ez a vélemény csak akkor vesztett valószínűségében, mikor Olbers kimutatta, hogy egy meteornak 35 km. mp.-kénti sebességgel kellene elhagynia a Holdat, hogy hozzánk eljuthasson. Oly sebesség ez, a minőt a Földön nincs alkalmunk megfigyelni semmiféle vulkános kitörésnél sem.

Lichtenberg volt az első, ki 1770 körül nagyobb figyelmet kezdett fordítani a hullócsillagokra; két tanítványa, Brandes és Benzenberg 1798-ban elhatározta, hogy megméri, minő magasságban vonulnak ezek a hullócsillagok. Göttinga közelében, egymástól körülbelül 8 km.-nyi távolságban végezték megfigyeléseiket 1798 szeptember 11-ike és november 4-ike között. 402 észlelt hullócsillag közül 22-t ismertek fel azonosaknak, azaz ennyiről tudták biztosan eldönteni, hogy egyszerre észlelték mindketten. Minthogy ismerték azt a távolságot, a mely őket észleléseik közben egymástól elválasztotta és mindegyik megmérte azt a szöveget, a melyet a hullócsillaghoz vont látósugár az őket összekötő alapvonallal alkotott, ismerték egy háromszög egyik oldalát és két szögét, melyekből a geometria legelemibb tanai szerint az alappal szemközt levő csúcs (a hullócsillag) magasságát ki lehetett számítani. Azt találták, hogy a hullócsillagok a Föld felszínétől 70—300 km.-nyi magasságban mozognak. Chladni már 1794-ben kimutatta, hogy a tűzgömbök sebessége igen nagy, hogy 37 és 45 km. között váltakozik és hogy ennél fogva ugyanolyan „kozmosz” sebesség, mint a minővel a bolygók mozognak pályáikban. Chladni azt is kimondta, hogy tűzgömbök, meteorok és hullócsillagok között nincs különbség, hogy ezek a világtérben szétszóró tömegek, melyek ha a Föld közelébe jönnek, a gravitáció-nál fogva reáesnek; rendkívül nagy sebességüknél fogva az óriási surlódás, mely a levegőn való áthatolásuk közben fellép, izzóvá teszi őket, úgy hogy el is olvadhatnak.

Chladni helyes nézeteit először Zach és Olbers fogadták el, de sokáig tartott, míg általános elismerésre találtak.

A hullócsillagokra az 1799-iki nagy csillaghullás terelte jobban az asztronómusok figyelmét. Európában ez a csillaghullás nem volt valami feltűnő, de annál nagyszerűbb volt

Dél-Amerikában, hol november 12-én Humboldt és Bonpland észlelték. Reggeli 2 óra felé valóságos hullócsillag-eső kerekedett; két óra alatt ezer és ezer hullócsillag tűnt fel, melyek fényükkel sokszor a Venust is felülmúlták; negyedórával a Nap felkelte után még meg lehetett őket különböztetni fehér fényük és gyors mozgásuk következtében.

Egyideig az a nézet is felmerült, hogy a hullócsillagok, midőn a világtérből a Föld közelébe jönnek, a gravitáció folytán a Földnek apró holdjaivá lesznek és állandóan körülötte keringenek.

1823-ban Brandes újra eszközölt hullócsillag-megfigyeléseket több munkatárs közreműködésével. 63 hullócsillag magasságát határozta meg s azt is észrevette, hogy mozgásukban egy határozott irány uralkodik.

A legközelebbi nagy csillaghullást 1833-ben különösen Olmstedt figyelte meg Newhavenben (Észak-Amerika), és megkoczkáztatta azt az eszmét, hogy ezek a nagyobb csillaghullások időszakosan visszatérő, periodikus tűnyemények. Olbers a periodust 34 évre becsülte (1799-től 1833-ig) és 1867-re újabb nagy csillaghullást jövendölt.

Időközben a hullócsillagokat részletes megfigyelések tárgyaivá tették. Kitűnt, hogy látszólagos pályájuk az égen rendszeren csak 1° – 2° , ritkán 8° – 10° és hogy legtöbbször legnagyobb kör mentén futnak végig, de hogy gyakran egészen szabálytalan utakat írnak le, a minőket különösen Schmidt figyelt meg (65. rajz).

Ha egy hullócsillagot több helyen látnak egyszerre és látszólagos pályája mindenütt legnagyobb kör, akkor minden megfigyelőhely számára ez a pálya egy síkban fekszik; a valóságos pálya mindezen síkok metszésvonala, tehát egy egyenes vonal. Ennélfogva, ha egy hullócsillagot több helyen észlelnek egyszerre, az összes látszólagos legnagyobb körök az ég ugyanazon pontján mennek át. A megfigyelők

szemétől ezen pont felé vont egyenesek egymással és a hullócsillag útjával párhuzamosak és meghatározzák azt az irányt, a melyből a hullócsillag látszólagosan jött. Minthogy ennek a pontnak az égen határozott helyzete van (mondjuk pl., hogy a hullócsillag látszólag az α Orionis felől jött), koordinátáit is meg lehet határozni.

Azonban a hullócsillagra a földi gravitáció is hat, mely a hullócsillag pályáját a Föld felé meggörbíti. A hullócsillag



65. rajz. Hullócsillagok útjai a levegőben.

útja, ha eltekintünk a levegő ellenállásától, csak két esetben lehetne egyenes vonal: vagy ha pályájának síkja átmenne a Föld sarkain és a sarkok éppen a Föld napkörüli mozgásának irányába esnének és a hullócsillag mozgása is ebben az irányban történne, vagy pedig ha a hullócsillag útjának síkja egybeesné a Föld egyenlítő-síkjával és mozgása az egyenlítő oly pontja felé irányulna mely a Földnek a Nap körül való mozgásának irányával éppen megegyezik. A Föld

t. i. nem gömb, hanem lapos ellipszoid; a szabad esés vonalai ennél fogva görbék, kivéve a sarkokon és az egyenlítőn. A sarkok azonban nem eshetnek sohasem a Föld mozgásának irányába, hiszen a Föld tengelye $23\frac{1}{2}^{\circ}$ -nyi hajlással bír az ekliptikához és így csak az egyenlítő maradna meg, melynek mentén egyenesvonalú hullócsillagmozgást észlelhetnénk. Valóságban a hullócsillag útja görbe s ez a görbültség a levegő ellenállása folytán még tetemes változásokat szenvedhet.

A mozgás ama részében, a mely a levegő felsőbb, kevésbé sűrű rétegeiben megy végbe, az eleven erő veszteségén kívül, mely maga után vonja a hullócsillag izzását és esetleg elégését, a mozgás iránya nem fog tetemesen megváltozni; de a pálya alsóbb részeiben, hol a levegő sűrűbb és a hullócsillag mozgásának sebessége erősen csökkent, erősebben is megváltozhatik a mozgás iránya, úgy hogy a pálya már nem sík, hanem térbeli görbe vonal is lehet. Kisebb hullócsillagok már a levegő felsőbb rétegeiben elégnak anélkül, hogy látszólagos útjuk lényegesen eltérne egy legnagyobb körtől. Nagyobb meteorok megváltoztatják pályájuk eredeti alakját, sőt ha el nem égnek, a légkört megint elhagyhatják és folytathatják útjukat a világterben; a Földre pedig csak azok eshetnek, a melyek a zenit közelében, az erővonal mentén érnek a levegőbe és a melyeknek tömege elég nagy ahhoz, hogy teljesen el ne égjen. Ily nagyobb meteorköveket számosat figyeltek meg és gyűjtöttek össze; igen szép gyűjtemény van Nemzeti Múzeumunkban. A hullócsillagoknak pályáját a levegőben erősen módosítja külső alakjuk is.

Mindezen eltérések mellett azok a hullócsillagpályák, a melyek nem határozottan szabálytalanok, felső részükben egyeneseknek tekinthetők.

Newton A., amerikai asztronómus, számos megfigyelésből azt találta, hogy a hullócsillagok magassága 30 és 270 km.

között, látszólagos sebességük pedig a föl villanás pillanatában 110 és 155, az eltűnés pillanatában 63 és 98 másodpercenként ikm. között váltakozik. Azért beszélünk látszólagos sebességről, mert a Föld is mozog a térben és ha egy hullócsillag ennek a mozgásnak az irányából jön, tehát a Földet szemben találja, akkor az a sebesség, a melyet mi megfigyelünk, a hullócsillag valóságos és a Föld pályabeli sebességének összege; ha pedig a hullócsillag a haladó Földet utóléri, akkor megfigyelt vagy látszólagos sebessége a két sebesség különbsége. Az első esetben tehát a megfigyelt sebességből a Föld pályabeli sebességét, körülbelül 30 km.-t le kell vonni, az utóbbi esetben ugyanannyit hozzáadni, hogy a valódi sebességet megkapjuk.

Említettük már, hogy valamely égitest napkörüli pályájának alakja egyedül attól a sebességtől függ, a melylyel a pálya egy határozott pontjában bír. Ha ez a sebesség a Föld-Naptávolságban pontosan 29·77 km. másodpercenként, akkor a pálya kör, ha pontosan 42 km., akkor a pálya parabola, e két határeset között és 29·77 km.-en alul minden sebességnél ellipszis, 42 km.-en felül pedig hiperbola lenne a pálya alakja. Föltéve, hogy a meteorok parabolikus pályát írnak le a Nap körül, a legnagyobb látszólagos sebességük 71·8, a legkisebb pedig 12·2 km. lenne. Ehhez azonban még hozzá kell adni azt a sebességváltozást, a melyet a földi gravitáció idéz elő és a mely körülbelül 0·87, illetve 4·3 km., úgy hogy a látszólagos sebességek kerekszámban 72 és 16 km. között váltakoznak. Schiaparelli az ő szép vizsgálatai alapjául ezeket a számokat vette.

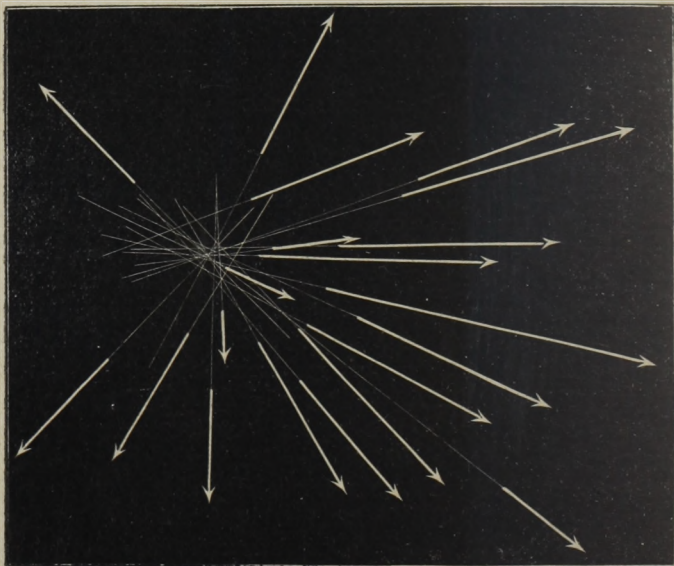
Ha a Föld csupán a tengelye körül forogna, akkor — föltéve, hogy meteorok minden irányból érkeznek a Föld felé — minden órában átlag ugyanannyi hullócsillagot kellene észlelni. Minthogy azonban a Föld a Nap körül is kering, azon az oldalon, a mely a haladás irányába, az apexbe esik,

több meteornak kell a Földe térnie, mint a haladással ellentett irányból, az antiapexből. Valamely észlelőhelyre nézve pedig a legtöbb hullócsillagnak akkor kell megjelennie, a mikor az észlelés helyének délköre éppen az apexbe esik. Álljunk föl úgy, hogy bal karunk a Nap felé essék, akkor arcunk az apex felé néz. Reggel, mikor a Nap keleten fölkel, arcunk dél felé néz, vagyis az apex beleesik a délkörbe s ekkor kell a legtöbb hullócsillagot észlelni. Hosszú éveken át folytatott számos és gondos megfigyelés ezt a következtetést megerősítette. A csillaghullások száma legkisebb napnyugta, legnagyobb pedig napkelte körül.

A hullócsillagok száma óránként változik és évszakonként is ingadozásokat mutat. Minél magasabban áll az apex a láthatár fölött, annál több csillaghullást kell észlelni. Az apex legmagasabban áll szeptember 22-én, legalacsonyabban márczius 21-én. Az apex magassága eközben 47° -kal változik, érthető tehát, hogy ennek az ingadozásnak a hullócsillagok számában is kifejezésre kell jutnia. A hullócsillagok eloszlása ekként bizonyítéka Copernicus rendszerének.

Meteorrajok. Néhány órai megfigyelés elégséges annak észrevezésére, hogy számos meteor látszólag az ég ugyanazon pontjából indul ki, mintegy kisugárzik. Ha hosszú folyosót egyik végéről szemlélünk, úgy látszik, mintha a folyosó alsó és felső élei egy pont felé igyekeznének a folyosó túlsó végén. A folyosó élei párhuzamosak, tehát azonos irányba mutatnak; a valóságban egymástól mért távolságuk mindig ugyanaz. De szemünk ugyanazt a hosszúságot annál kisebb szög alatt látja, minél távolabb van tőle ez a hosszúság. A látószög tehát folyton kisebbedik, közeledik a zérus felé, tehát ezek a párhuzamos vonalak látszólag egy pont felé futnak össze. Gondoljuk el, hogy a folyosó élein golyók gurulnak felénk. Az a benyomásunk lesz, hogy ezek a golyók egy közös pontból jönnek felénk, pedig a valóságban egy-

mástól mindig ugyanabban a távolságban levő párhuzamosokon mozognak. Ebből viszont következik, hogy mindazok a hullócsillagok, a melyek látszólag ugyanabból a pontból sugároznak ki (66. rajz), a valóságban egymástól egyenlő távolság-



66. rajz. Hullócsillagok, melyek látszólag egy pontból sugároznak ki.

ban levő párhuzamos pályákon haladnak felénk. Az ily meteorok tehát mind ugyanabból az irányból jöttek, hasonló pályákon és mivel némelykor száz meg ezer ily meteort észleltek, melyek mind egy közös pontból sugároztak ki, az ily csapatosan jövő meteorokat elnevezték meteorrajoknak.

Azt a pontot, a melyből a kisugárzás látszólag történik, *radiánsnak* szokás nevezni.

Az 1833 november 13-án észlelt nagy csillaghullás Olmstedt megfigyelései szerint látszólag az Oroszlán csillagképéből indult ki és követte a csillagok napi mozgását. Ezek a meteorok tehát mind párhuzamos és hasonló pályákon mozogtak — legalább a Föld közelében — és egy meteorrajt alkottak.

Nemsokára felfedezték, hogy az égen számos radiáns van. Quetelet 1836-ban vette észre, hogy az augusztus 10-én nagyobb számban fellépő meteorok, melyek már rég időtől fogva „szt. Lőrincz tüzes könnyei“ név alatt voltak ismertek a nép előtt, mind a Perseus csillagképéből sugároznak ki. Humboldt, Herrick, Arago, Heiss és többen mások egymásután fedeztek föl ily radiánsokat.

Annak magyarázatára, hogy a bővebb csillaghullások az év egyes határozott napjain lépnek fel, azt lehetett föltenni, hogy ezek a meteorrajok a világtérben oly pályákat írnak le, a melyek a Föld pályáját bizonyos pontokban metszik. Ha a meteorraj egyenletesen volna a pálya mentén elosztva, akkor a Föld minden évben egy határozott napon találkozik vele abban a pontban, a melyben a két pálya egymást metszi. De akkor minden év augusztus 10-én, november 13-án s i. t. a csillaghullásnak egyforma erővel kellene fellépnie.

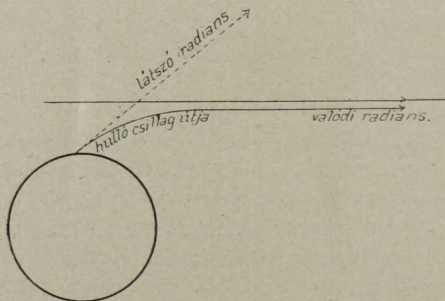
De miért volt az, hogy 1799 és 1833 november 13-án a csillaghullás oly rendkívüli arányokat öltött, míg a közbeneső évek e napján alig mutatkozott több meteor, mint rendszeren?

Olbers és Newton A. adták meg a helyes feleletet, midőn kimondták, hogy ez a raj akkora ellipszisben kering a Nap körül, hogy befutására 34 év kell és hogy a meteorok ez ellipszis mentén és közel körülötte hossziránya mentén egyenlőtlenül vannak elszórva. A bő csillaghullás 1866-ban

csakugyan megismétlődött, tehát Olbers és Newton sejtelve helyesnek bizonyult.

A főfigyelem most már természetesen a radiánsokra térelődött, azonkívül azt a fontos kérdést kellett megoldani, hogy mik e meteorrajok pályaelemei, azaz mily pályákon keringenek e rajok a Nap körül?

Szinte magától érthető, hogy a megfigyelt látszólagos radiáns nem azonos a valósággal. A meteort csak akkor látjuk, mikor a Föld közelébe hatol, a látszólagos radiáns



67. rajz. Látszólagos és valódi radiáns.

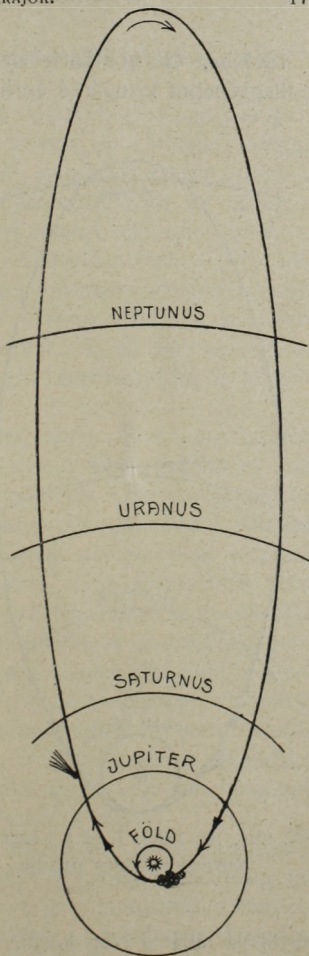
pedig a görbe pálya végének irányába esik (67. rajz). A valószínű radiáns más irányban keresendő. A valószínű radiánst Newton törvénye alapján ki lehet számítani és a radiáns koordinátáinak megfigyeléséből a pályát is meg lehet határozni. Ezen meglehetősen bonyolult feladat megoldása körül különösen Schiaparelli szerzett nagy érdemeket.

Schiaparelli kiszámította a Perseus csillagképéből kisugárzó augusztusi meteorraj — az ú. n. Perseidák — pályájának elemeit 1866-ban. Ekkor közölte Oppolzer az

1862 III. üstökös elemeit. Schiaparelli-nek fel-
tűnt ezen elemek hasonlósága a tőle számított
Perseidák elemeihez, a mi
azt a gondolatot ébresz-
tette benne, hogy az
1862 III. üstökös és a
Perseidák meteorraja kö-
zött valami összefüggés-
nek kell lennie (68. rajz).

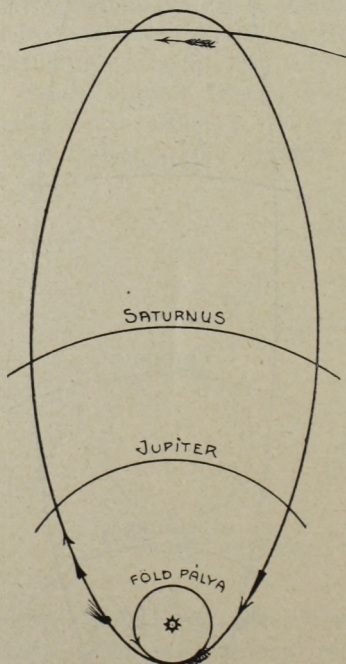
Schiaparelli és
vele egyidőben Lever-
rier a Leonidák rajának
pályáját is számította.
A Leonidák — mint már
említettük — november
13-án látszólag az Orosz-
lán csillagképéből sugá-
roznak szét.

Ugyanebben az évben
— 1866-ban — megjelent
az 1866 I. üstökös, mely-
nek elemeit szinten Op-
polzer számította, s me-
lyekről Peters azonnal
felismerte, hogy azonosak
a Leonidák elemeivel (69.
rajz). A 70. rajz a való-
sághoz híven mutatja az
augusztusi és novemberi
meteorraj pályáinak el-
helyezkedését a térben.



68. rajz. Az 1862. III. üstökös és az
augusztusi meteorraj közös pályája.

1867-ben Galle határozta meg a Lyraidák, a Lant (Lyra) csillagképéből kisugárzó áprilisi raj pályáját, melynek elemei megegyeznek az 1861 I. üstökösével.



69. rajz. Az 1866. I. és a novemberi meteorraj közös pályája.

A Biela-féle üstökös, melyről bizonyos volt, hogy keringésideje $6\frac{3}{4}$ év, 1852 óta hiába várták. Nem jelent meg többé. Ellenben bizonyos volt, hogy leszálló csomójában igen közel jöhet a Földhöz. A Föld november 23-án megy át ezen a csomóponton. 1859, 1872 és 1885-ben, tehát épp oly években, mikor Biela üstökösének vissza kellett volna térnie, november 27-én ezerszámra láttak meteorokat, melyek az Andromeda csillagképéből látszottak kisugározni. D'Arrest már 1867. évben rámutatott arra, hogy az 1798-iki és 1838-iki gazdag csillaghullás között éppen 6-szor tehetette meg Biela

üstököse útját a Nap körül. Weiss pedig kimutatta, hogy ha egy meteorraj, mely ugyanazon a pályán kering, mint Biela üstököse, november 27-e táján találkozik a Földdel,

akkor a radiánsnak az Andromeda csillagképben kell feküdnie.

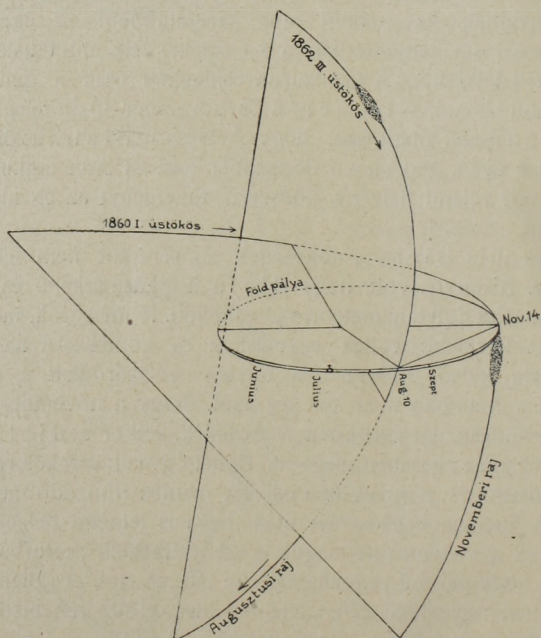
Mikor 1872. november 27-én ismét bekövetkezett a gazdag csillaghullás, Klinkerfues-nek, a göttingai csillagvizsgáló volt igazgatójának az a gondolata támadt, hogy a meteorrajnak, ha a Föld rajta keresztülment, az égnek a radiánssal ellentett pontján, a β Centauri felé, mint üstökösnek kell látszania. A Centaurus csillagkép csak a déli félgömbön látható. Klinkerfues november 30-án telegrafált Pogson-nak Madrasba, hogy keresse a Biela üstökösét az ég e táján. Pogson december 2-án és 3-án csakugyan látni vélte valami halvány ködszerű tüneményt az ég kijelölt tájékán.

Ezek után Biela üstökösének sorsa iránt nem lehetett kétség. Bizonyos volt, hogy Biela üstököse árkeltő és más erők hatása folytán meteorrajjá változott. A meteorok, melyek azelőtt közelebb voltak egymáshoz és gömbszerű halmazt alkottak, külső erők hatása folytán szétszóródtak a pálya mentén. Azonban meg kell jegyezni, hogy a november 27-i csillaghullást már régebben is észlelték, mikor a Biela-féle üstökös még egészen megvolt. Ennélfogva az üstökös régebben sűrűsödési pontja volt a pályája mentén elhúzódó meteorrajnak, melybe kettéoszlása után maga is teljesen beleolvadt.

Hogy a meteorrajok maguk is szenvedhetnek perturbációkat és hogy pályáik változhatnak, az természetes. A „Bielidák” 1885-ben november 27-én jelentek meg, 1892-ben bizonyos perturbációk folytán már november 23-án.

1900-ban nagy várakozással néztek az 1866-i nagyszerű meteorhullás megismétlődése elé. A Leonidák azonban elmaradtak. Mint Stoney és Downing kimutatták, a meteorraj utolsó keringése alatt a Jupiter és a Saturnus közelébe került, melyektől hatalmas perturbációkat szenvedett, úgy hogy pályája jelenleg nem metszi a Földét.

A meteorrajoknak a pálya mentén való eloszlásáról is alkothatunk magunknak némi fogalmat. A Leonidák keringés-ideje 33 év és három hó; a nagyobb csillaghullás azonban két



70. rajz. Az augusztusi és a novembéri meteorraj pályáinak elhelyezkedése a térben.

évben egymásután volt megfigyelhető. Ebből következik, hogy a raj sűrűbb része hosszabb, mint a pálya egy tizenhatod része. A Perseidák keringésének ideje 119,6 év; a

csillaghullás azonban minden év augusztusában változatlan tömegben ismétlődik és ennél fogva ez a raj az egész pálya mentén szét van szórva és a Nap körül mint egy óriási elliptikus gyűrű kering.

Több mint száz meteorrajról sikerült eddig kimutatni, hogy pályájuk valamely üstökösével megegyezik, tehát az összefüggés föltétlenül bizonyos. Ennek az összefüggésnek a kiderítése egyike a legérdekesebb vívmányoknak, melyek a matematikai asztronómia dicsekedhetik.

Épp úgy, mint a perturbációk maguk után vonhatják egy sűrűbb meteorhalmaz, azaz üstökös szétfoszlását rajjá, épp úgy lehetséges, hogy egy meteorraj oly perturbációk folytán, a melyek a raj tagjainak mozgását hátráltatják, összebb tömörül és akkor előttünk mint üstökös jelenik meg.

Schiaparelli, abból a feltevésből indulva ki, hogy egy üstökös nem egyéb, mint csupa 1 gramm tömegű kis gömbök halmaza, kimutatta, hogy ha ezek a gömbök távolabb vannak egymástól, mint 1·9 m., akkor a Nap perturbációi folytán széjjelszóródnak, ha ellenben közelebb vannak egymáshoz, akkor állandó halmazt alkotnak. Roche, Charlier, Luc Picart és mások az üstökösöket körülvevő gázburkolatot és a csóvák alakját tették matematikai vizsgálatok tárgyává, melyek sok érdekes eredményre vezettek. További kutatásokra az égi mechanikának itt legszebb tere nyílik, mert még igen sok kérdés vár megoldásra, melyek majd az egyes építőköveket szolgáltatják azoknak az ismereteknek összességéhez, a melyet kissé túlozva „világnézet“-nek szoktunk nevezni. Hogy az üstökösök sokban hozzájárultak ezeknek az ismereteknek fejlődéséhez, azt az előbbiek folyamán láttuk; kétségtelen, hogy újabb érdekes ismereteket és felfedezéseket fogunk nekik köszönhetni a jövőben is.

Most már beszélhetünk az üstökösökkel való összeütközésről is. Az üstökös csak addig látható, míg gázburkolat veszi

körül, melyet a katódsugarak világítóvá tesznek. Ez a ritkás gázburkolat a sugárnyomás következtében folyton csökken és végre csak a szilárd alkotórészek maradnak meg. Ezek a szilárd alkotórészek a meteorkövek, melyek a mikroszkópikus porszemtől kezdve fölfelé mindenféle nagyságúak lehetnek. Ily meteorkövek rajaival a Föld folyton találkozik, minden csillaghullás alkalmával keresztülmegy rajtuk, tehát tulajdonképpen folyton összeütközik ezekkel az apró égitestekkel, a melyeket üstökösöknek nevezünk, ha sűrűbben vannak összehalmozva. Az üstökösök magja bizonyára ily sűrűbb meteorhalmaz. A porszemnyi és borsónagyságú meteorkövektől nincs mit tartanunk, a levegő ezeket felfogja mint valami rugalmas párna; elégnék, mielőtt a földet érhetnék. Nagyobb meteorkövek, melyek a földre esnek, aránylag ritkák és ezek között csak egyet ismerünk, mely 20 000 kg. súlyú. Valószínű tehát, hogy az üstökösök magjában is az apró meteorkövek a túlnyomók. Hogy igen nagy kövek nincsenek sűrűn az üstökös magjában, azt következtetni lehet Finlay és Elkin megfigyeléséből, melyet az 1882-iki nagy üstökösnél tettek. Sűrű s nagy kövekből álló meteorhalmazzal való találkozás minden esetre végzetes lehet azokra az emberekre, a kik az összeütközés oldalán vannak. Hogy az összeütközés valóban létrejőjön, ahhoz szükséges, hogy az üstökőspálya pontosan messe a Föld pályáját és hogy egy adott pillanatban mind a két égitest egyszerre érjen ebbe a metszéspontba. Ily találkozás végtelenül kevésbé valószínű, de nem lehetetlen, és a Halley-üstökös ezidei megjelenése alkalmával egyáltalában nem történhetik meg. Hogy mit kell tartanunk a csóvával való találkozásról, azt már elmondtuk.

Az üstökösök valódi pályái. Az üstökösök statisztikájában említettük, hogy a legtöbb, véglegesen kiszámított pálya parabolikus és hogy ez azért van, mert egyrészt ily elemek számítása a legegyszerűbb, másrészt az üstököst a pályának

csak kis részében figyelhetjük meg a perihélium körül, a hol ellipszis, parabola s hiperbola majdnem összeesnek és hogy végre a megfigyelések is elkerülhetetlen hibákban szenvednek, melyek a számítás végeredményét is módosítják. A parabolikus elemek mindössze csak annyit jelentenek, hogy a megfigyelt kis pályadarabot a megfigyelés hibáinak határán belül helyesen visszaadják, de nem azt, hogy az egész pálya valóban parabola.

Régebben azt hitték, hogy minden üstökös pályája parabola; hogy az üstökösök végtelen távolságból jönnek a Nap közelébe, ismét eltávolodnak a végtelenbe s csak azok maradnak a Naprendszer állandó tagjai, a melyeket valamely bolygó megfog, kaptivál.

Hogy az üstökösök *végtelen* távolságokból jöhetnek, ez igen kényelmes szólásmód. De mivel a Nap körül milliós számra vannak égitestek — az ú. n. állócsillagok — melyek igen nagy, de véges távolságban vannak tőlünk, a végtelen távolságot odamódosították, hogy az üstökösök állócsillagtól állócsillaghoz vándorolnak. Mivel az üstökösöknek van tömegük és ennél fogva hódolnak Newton törvényének, nem nehéz feladat megvizsgálni azt, hogy milyen pályákat írhat le egy kis tömegű üstökös, mely két nagy tömegű állócsillag körül vándorol.

Ezen lehetséges pályák között parabola nincs. (Említettük, hogy pontosan kúpszelet a pálya csak akkor lehetne, ha a világtérben csak *két* test léteznék; itt három testtel van dolgunk.) Hiperbolához hasonló pálya csak egy esetben lehetséges, de ennek perihéliuma — föltéve, hogy a másik állócsillag tömege épp akkora, mint a Napé*) — az ismeretes üstökösök perihélium-távolságát sok ezerszeresen fölülmúlja. A számított hiperbolaalakú üstököspályák exczentriczitása oly

*) Vannak sokkal nagyobb tömegű állócsillagok is, mint a Nap.

keveset különbözik az egységtől, hogy ezeket épp úgy, mint a parabolikusokat, csak számításbeli fikcióknak kell tekintenünk.

Másképpen vagyunk az ellipszissel. Ellipszishez hasonló pályák igenis lehetségesek. A hasonlóság úgy értendő, hogy ezek a pályák zártak, a rajta keringő üstökösök visszatérők s a pálya alakja olyan, hogy egész hosszában ellipszissel igen pontosan megközelíthető. Parabola és hiperbola ily pályát egy *kis* darabon szintén megközelíthet, de persze nem egész hosszában, mert parabola és hiperbola nem zárt görbék. Ellipszis alakú pálya kétféle lehetséges. Vagy körülveszi mind a két állócsillagot, vagy csak egy állócsillag körül záródik. Hill, a híres matematikus-asztronómus tette vizsgálatai tárgyává klasszikus dolgozataiban olyan kis tömegű égitest mozgását, mely két nagy tömeg hatása alatt kering a Newton-féle törvény szerint. Ezeket a vizsgálatokat Darwin G. egészítette ki. Mivel az üstökösök kis tömegű égitestek, ezeknek a vizsgálatoknak az eredményei közvetlenül alkalmazhatók.

Tegyük föl, hogy a Nap és a hozzá — eddigi ismereteink szerint — legközelebb levő állócsillag, az α Centauri, egyenlő tömegűek. Ezeknek távolsága körülbelül 40 billió km. vagy 274 000 Föld-Nap-távolság. Gondoljunk a Nap és az α Centauri mint középpontok körül egy-egy gömböt 137 000 Föld-Nap-távolság nagyságú sugárral. A gömbök a Nap és az állócsillag között félúton érintkezni fognak. Ha egy kis tömegű égitest a Nap és az α Centauri körül kering, akkor csak ezeken a gömbökön kívül keringhet homokóraalakú pályán és legfeljebb 137 000 Föld-Nap-távolságra közelítheti meg a Napot.

Tudjuk, hogy a legnagyobb perihélium-távolság, melyet eddig megfigyelték, körülbelül 5 Föld-Nap-távolság, tehát ezek az üstökösök nem lehetnek oly égitestek, a melyek a Nap és egy másik állócsillag körül keringenek. Ellenben

keringhet a kis tömegű égitest az említett gömbök egyikének belsejében. De akkor vagy csak a Nap, vagy csak a másik állócsillag körül ír le ellipszisalakú pályát, és ezt a gömböt, ha egyszer benne van, soha el nem hagyhatja. Az üstökösök kis perihélium-távolságai mutatják, hogy a Nap körül képzelt gömb belsejében vannak s ennél fogva *az üstökösök mind*



72. rajz. Az 1824-iki üstökös.

állandó tagjai a Naprendszernek. Lehetnek olyanok, melyek két állócsillag körül keringenek, de ezek oly távol esnek tőlünk — mint említettük — hogy sohasem fogjuk őket megfigyelhetni. A legnagyobb keringés-idő, melylyel ezek szerint egy üstökös bírhat, körülbelül 50 millió esztendő, s ez van annyi, hogy rövid emberi életünkhöz képest végtelen-

nek tekinthessük. Ilyféle ellipszis a perihélium körül szinte teljesen összeesik a parabolával, tehát a parabola-pálya a gyakorlatban csak mint számításbeli segédeszköz jogosult. De nem szabad elfelejtenünk, hogy a valóságban mégis csak ellipszissel van dolgunk.

Abból a körülményből, hogy számos üstökös aféliuma egyes bolygók pályáinak közelébe esik, arra következtettek, hogy az ily üstökösök valamennyien az illető bolygó lebilincselésének köszönik elliptikus pályájukat. Van vagy 30 üstökös, melynek aféliuma a Jupiter-pálya közelébe esik s ezeket a Jupiter üstökös-családjának nevezik (71. rajz). Saturnus családja 2, Uranusé 3, Neptuné 6 tagból áll. Már most abból, hogy vannak üstökösök, melyeknek aféliuma messze túlesik a Neptunon, némelyek azt a következtetést vonták le, hogy viszont annak az aféliumnak a tájékán egy bolygópályának kell lennie. Lexell és Brooks üstököseinek esete erre nézve igen tanulságos, mert láttuk, hogy a perturbációk egy ellipszist épp úgy megnagyíthatnak, mint a hogy kisebb méretekre szoríthatják, úgy hogy a kaptiválás-elméletnek ez a következtetése nem^{is} bizonyító erejű, mert azok a nagy aféliummal bíró ellipszisek épp úgy pl. Jupiter-perturbációknak is köszönhetnék eredetüket. Különben is az üstököspályáknak visszafelé való számítása egy oly ponton túl, melyben egy nagyobb tömegű bolygó közelében voltak, az égi mechanika legbonyolultabb feladatainak egyike, melyet még a mai hatalmas matematikai fegyverekkel sem sikerült teljesen leküzdeni.

Betűrendes név- és tárgymutató.

A

Adams 28, 74
 Afélium 42
 Alignement 11
 Aitken 127
 Ångström-egység 145
 Antiapex 171
 Apex 170
 Apianus 6, 60
 Arago 173
 Argelander 113
 Arisztarchosz 4
 Arisztotelesz 1, 2, 3, 4,
 5, 21, 22, 24, 70
 Arrhenius 160, 161
 Asten 99, 102, 118
 Asztrofizika 27
 Asztronómia és asztrofizika 27
 és köv.
 Augusztusi és novemberi
 meteorraj 175, 178*
 Auzout 25
 Azimut 13.

B

Babinet 69
 Backlund 99, 102

Barnard 79, 85, 89, 125
 Bartoli 158
 Bauschinger 67
 Benzenberg 166
 Berberich 127
 Bessel 73, 75, 77, 96, 99,
 104, 111, 113, 154
 Biela 105
 — üstököse 103, 104 és köv.,
 106*, 107*, 108*, 176
 Bielidák 177
 Biot 78
 Boguslawski 115
 Bolométer 151
 Bond 119
 Bonpland 167
 Borelly 25
 — üstököse 127
 — — csóvájának változásai
 130*
 Bouvard 95
 Boys 161
 Bradley 11
 Brandes 166, 167
 Bredichin 147, 154, 160,
 161
 Brooks 109

Magyarázat. A * rajzokra való hivatkozást jelent.

Brooks üstököse 66, 67*, 133, 185

Brorsen üstököse 100, 101*
133

Bruhns 118

Bunsen 140

Burckhardt 131

Burnham 79

C

Callandreau 134

Cassini J. D. 70, 87

Celoria 6

Chandler 66, 67, 68, 133

Charlier 100, 179

Cheseaux 111

Chladni 166

Clairaut 71, 72

Coggia üstököse 122

Coniel 89

Copeland 148

Copernicus 11, 21, 22

Cowell 79

Crommelin 79, 80

Cysatus 104

— üstökösrajzai 24, 25*

Csillagászati műszerek, régiek
7 és köv.

Csomó hosszúsága 51

Csomóvonal 51

Csóva 153* és köv.

— rendellenes 161, 162*, 164*

Csókák Bredichin-féle típusai 155*, 156

Cziángáz a Halley üstökösben 147

— az üstökösökben 147

D

Damoiseau 73

D'Arrest 106, 176

Darwin G. 182

Deklináció 7, 8*

Denning üstököse 133

De Pontécoulant 73, 74, 78

Deslandes 147

Differenciál- és integrálszámítás 61

Donati üstököse 68, 116,
119, 121

Doppler elve 150 és köv.

Dowing 177

Dörffel 27

Dumouchel 73

Dunèr 147

Dunlop 97

Dunthorne 96

Diszperzió 138

E

Ebell 94, 103

Efemerida 67

Egyenlítői koordináták 11

Ekliptika 50

Ekvatoriál, fotográfikus 90, 91*

Elkin 84, 123, 180

Ellipszis 33, 34*

Elliptikus pálya üstökösénél 58

Encke 62, 96, 98, 102, 105,
106, 115, 118

— üstököse 95 és köv., 98*

Exczenricitás 38

Égitestek mozgásának közegellenállása 98

F

Fabricius 6
 Faraday 158
 Faye üstököse 65, 133
 Fény nyomása 158 és köv.
 Finlay 84, 123, 180
 Fonálkereszt 24
 Fotométer 152
 Flamsteed 56, 60, 70
 Fracastor 66
 Fraunhofer-féle vonalak 149*
 Frost 147

G

Galilei 24, 28, 46
 — nézetei az üstökösökről 23
 Galle 74, 176
 Gambart 105
 Gascoigne 24
 Gauss 96, 104
 Goldstein 161
 Gothard J. 90, 149
 Gould 115
 Gravitáció 45 és köv.

H

Haerdtl 100
 Halley 6, 22, 61, 62, 72,
 102, 116
 Halley, Olbers, Encke,
 Biela üstököseinek pá-
 lyái 108*
 Halley üstököse 23, 28, 29,
 49, 58, 63, 70, 73, 75*, 76*,
 95, 96, 109, 119, 121, 124,
 153, 154
 — üstökösének 1910-ik évi
 megjelenése 80*

Halley üstökösének látszóla-
 gos útja 85
 — üstökösének pályája 81, 82,
 83*
 — üstökösének perihélium-
 átmenetei 86
 Harkányi báró 149
 Hasselberg 145, 146, 149
 Hayn 122
 Három test problémája 64
 Heinsius 77, 111
 Heis 173
 Heller Joachim 6
 Hepperger 122
 Herrick 173
 Herschel Karolin 95, 96
 Herschel W. 74, 103
 Herz 113
 Hevelius 5, 25, 26, 27,
 31, 48
 Hill 64, 118, 182
 Hind 78, 87, 105, 133
 Hiperbola 35, 36*
 Hipparchosz 4, 5, 9
 Hold mozgásának gyorsulása
 102
 Hubbard 115
 Huggins 123, 144, 149
 Hull 158
 Hullócsillagok 165
 — látszólagos kisugárzása egy
 pontból 171, 172*
 — magassága 166
 — szabálytalan pályái 167,
 168*
 Humboldt 167, 173
 Huth 95

I

Ibolyántúli sugarak 151
Iwanow 80

J

Janssen 90
Javelle 68
Jákob botja 12*
Jupiter üstökös-családja 183*,
185

K

Katódsugarak szerepe az üstökösöknél 163
Kepler 5, 24, 41, 42, 45,
46, 48, 60, 104, 134, 153,
154
— nézetei az üstökösökről 23
— törvényei 28, 38 és köv., 48
Keresztrezgések 138
Kirchoff 140, 143, 144
Klinkerfues 177
Konkoly-Thege 90, 149
Koordináta, heliocentrikus 40
Kövesligethy 149
Kreutz 115, 116, 121, 123,
125, 126

L

Lagrange 64
Lalande 71, 72
Lambert 62
Lamp 133
Langley 160
Laplace 62, 64, 102, 131
133
Laugier 6, 78

Lebedew 158
Legendre 104
Lehmann 73
Leibniz 61, 71
Lenard 163
Leonidák 175
Lepaute-né 71
Leverrier 28, 30, 74, 102,
133, 175
Lexell üstököse 131, 185
Liais kettős üstököse 109,
110*
Lichtenberg 166
Littrow 109
Lockyer 122
Lohse 148
Löwy 118
Luc Picart 179
Lyraidák 176

M

Matkiewics 80
Maury 106
Maxwell 28, 158
Méchain 95, 96
Meridiánkör 13
Messier 30, 72, 95, 111, 131
Meteor 165
Meteorrajok 165, 171 és köv.
Montaigne 104
Morehouse üstököse 127
— üstököse csóvjának változásai 130, 132*
Morstadt 104
Murmán 121
Nap, látszólagos átmérője 39

N

- Nátrium jelentése az üstökösökben 147
 Newcomb 66, 102
 Newton 28, 46, 49, 56, 57, 61, 64, 71, 78, 154
 — törvénye 45 és köv.
 Newton A. 134, 169, 174, 175
 Nichols 158
 Nicolai 96, 115

O

- Olbers 62, 96, 98, 99, 111, 113, 154, 165, 166, 174, 175
 Olmstedt 167, 173
 Oppolzer 62, 99, 174, 175,
 Összeütközés üstököscsóvával 163
 — üstökössel 179, 180

P

- Page 118
 Palitzsch 72
 Parabola 36, 37*
 Parallaxis 15*, 16*, 17
 —, egyenlítői, napi 20*
 —, évi 20, 21
 Parkhurst 147
 Pályaelemek 49 és köv.
 — változásai 61
 Pálya, látszólagos és valóságos 31 és köv.
 Pályameghatározás 49 és köv.
 Pechüle 109
 Perihélium 42
 Perrine üstököse 127, 129*
 Perseidák 174

Perturbációk 62

- Peters 175
 Petit 25, 31
 Pingré 78, 96, 104
 Plummer 111
 Pogson 177
 Poincaré 64, 101
 Pons 95, 104
 Porter 89
 Ptolemájosz 4, 5, 9, 21

Q

- Quadráns, azimutális, 12
 —, fali 12
 Quetelet 173
 Quéniisset 26, 81

R

- Radiáns 173
 — látszólagos és valódi 174*
 Rebeur-Paschwitz 123
 Regiomontanus 5, 6, 7, 11, 14
 Refrakció 13, 14*
 Refraktor 90, 93*
 Rektaszczenzió 7, 8*
 Régibb méretek az üstökösök-ről 1 és köv.
 Rieme 123
 Roche 179
 Rosenberger 73
 Rümker 97

S

- Santini 105
 Schiaparelli 122, 170, 174, 179

Schmidt 121, 124, 125, 167
 Schulhof 122, 133, 134
 Secchi 107, 144
 Seeling 121
 Seneca 3, 4
 Spektroszkóp 140*, 141*
 Spektrum-analízis 137 és köv.
 Sphaera armillaris 9, 10*,
 Spitaler 136
 Stoney 177
 Sugárnyomás 158 és köv.
 Swift üstökös 127 128*
 Szent-Lőrincz tüzes könyei 173
 Szénhidrogének szinképe
 145, 146*
 Színkép, abszorpcziós 143
 Színképelemzés 137 és köv.
 Színkép, emissziós 143

T

Tebbutt 119
 Thrän 127
 Thomson J. J. 163
 Tisserand 134
 Toscanelli 6, 60
 Triquetrum 10, 11*
 Tycho 13, 14, 21, 22, 23,
 24, 41, 48
 — az üstökösök távolságáról
 12 és köv.

Ü

Üstökös, 1531-iki, 60
 —, 1607-iki, 60
 —, 1652 évi, 27*

Üstökös, 1680-iki, 56
 — 1680 évi, 96
 —, 1682-iki, 60
 —, 1744 évi, 111, 112*
 —, 1769 évi, 111
 —, 1797 évi, 111
 —, 1807 évi, 113
 —, 1811 évi, 113
 —, 1843 évi, 113
 —, 1843 évi I., 136
 —, 1851 évi III., 136
 —, 1861 évi I., 68
 —, 1861 évi I., 157*
 —, 1861 évi II., 119
 —, 1861 évi II., 120*, 121*
 —, 1862 évi III., 121
 —, 1862 III. és az augusztusi
 meteorraj 175*
 —, 1863 évi V., 157*
 —, 1866 I. és a novemberi
 meteorraj 175, 176*
 —, 1873 évi IV., 157*
 —, 1880 évi I., 122
 —, 1881 évi II., 149*
 —, 1881 évi III., 123
 —, 1882 évi, 84
 —, 1882 évi II., 123, 124*
 —, 1884 évi I., 77
 —, 1886 évi I. és II., 127
 —, 1892 évi V., 89
 —, 1893 évi II., 162*
 —, 1905 évi IV., 94 és köv.
 —, 1910 a, 26*, 152
 — átmérőjének változása 103
 — -családok 183*, 185
 — csóvája 153 és köv.

Üstökös elnevezése 86 és köv.

— elvonulása a Nap korongja előtt 124

— felfedezése 86 és köv. 89*

— fényessége 152 és köv.

— -kereső távcső 87, 88*

— -távolság meghatározása 5 és köv.

— , teleszkópikus, 87, 87*

— saját fénye 161 és köv.

— -statisztika 134, 135, 136

— színeképe 148*

Üstökösök és meteorrajok 165 és köv.

— fizikája 137

— lebilincselése (kaptiválása) 131 és köv.

— pályája és mozgása 31 és köv.

— tagjai a Naprendszernek 184

— távolabb vannak tőlünk mint a Föld 21

— tömege 65

— valódi pályái 180 év köv.

— színeképe 144*, 145, 146*

V

Vas jelenléte az üstökösökben 148

Vico-Swift üstököse 133

V i l m o s, hesseni
tartománygróf 6, 22

V o g e l 122, 123, 146, 147

Vörösönneni sugarak 151

W

Walther Bernát 5, 6

Wells üstököse 123, 147

Weiss 103, 115

Whiston 96

Williams 78

Winnecke 118

— üstököse 65, 100

— üstökösének színeképe 144*

Wiszniewsky 113

Wolf 79, 81, 94, 103

— üstököse 90

Woodgate 103

Z

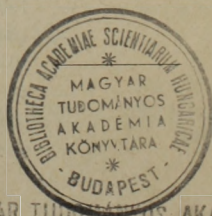
Zach 166

Zemplén 158

Zenittávolság 13

Zencker 122

Zöllner 154, 156



MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADEMIA

KÖNYVTÁRA 344 /19 57 N. SZ.

2. 115

